

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION  
EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la Propriété  
Intellectuelle  
Bureau international



(43) Date de la publication internationale  
8 mai 2003 (08.05.2003)

PCT

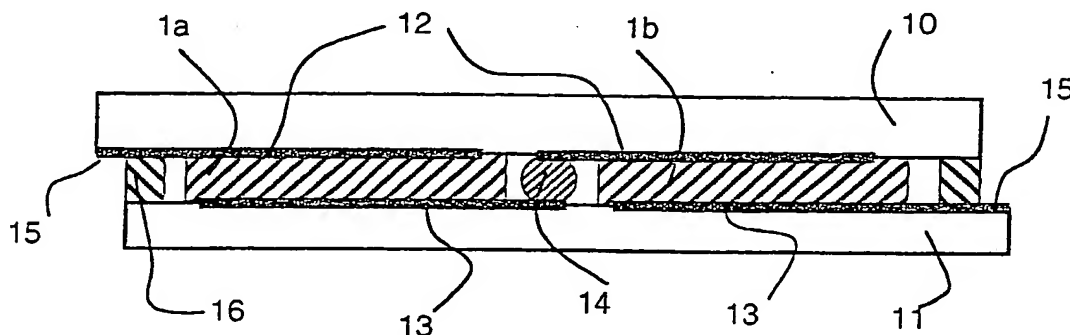
(10) Numéro de publication internationale  
**WO 03/038911 A1**

- (51) Classification internationale des brevets<sup>7</sup> :  
H01L 31/048, 31/05 02/04209 4 avril 2002 (04.04.2002) FR
- (21) Numéro de la demande internationale :  
PCT/FR02/03124 (71) Déposants (pour tous les États désignés sauf US) :  
DGTEC [FR/FR]; 304, rue de Corporat, F-38430 Moirans (FR). SOLAR, Appolon [FR/FR]; 2, Rue Dulong, F-75017 Paris (FR).
- (22) Date de dépôt international :  
13 septembre 2002 (13.09.2002) (72) Inventeurs; et  
(75) Inventeurs/Déposants (pour US seulement) : BARET, Guy [FR/FR]; 21, rue Jules Ferry, F-38500 Voiron (FR). LAUVRAY, Hubert [FR/FR]; 22, Chemin de Mordant, F-38370 St Clair du Rhône (FR).
- (25) Langue de dépôt : français
- (26) Langue de publication : français
- (30) Données relatives à la priorité :  
01/14017 30 octobre 2001 (30.10.2001) FR (74) Mandataires : HECKÉ, Gerard etc.; Cabinet Hecké, WTC Europole, 5, place Robert Schuman, Boîte postale 1537, F-38025 Grenoble Cedex 1 (FR).

[Suite sur la page suivante]

(54) Title: PHOTOVOLTAIC CELL ASSEMBLY AND THE METHOD OF PRODUCING ONE SUCH ASSEMBLY

(54) Titre : ASSEMBLAGE DE CELLULES PHOTOVOLTAIQUES ET PROCEDE DE FABRICATION D'UN TEL ASSEMBLAGE



(57) Abstract: The invention relates to a photovoltaic cell assembly and the method of producing one such assembly. The photovoltaic cells (1a, 1b) of the assembly are disposed side by side between front (10) and rear (11) glass substrates and are connected in series by means of front (12) and rear (13) bonding conductors and interconnection elements (14). Said bonding conductors can be: (i) formed on the internal face of each glass substrate opposite the location of each of the cells; or (ii) obtained by the laser cutting, through the glass substrates, of conductive bands which already extend between the cells and the glass substrates. The electric interconnection elements (14) are disposed between two adjacent cells (1) in order to connect opposing bonding conductors which are associated with two adjacent cells. A sealing joint (16), which is made from a mineral material and disposed between the two glass substrates (10, 11), defines an internal sealed volume which contains all the cells (1). Said sealing is performed at a temperature of between 380 °C and 480 °C for a period of less than 30mn.

(57) Abrégé : Les cellules photovoltaïques (1 a, 1 b) de l'assemblage sont disposées côte à côte entre des substrats de verre avant (10) et arrière (11) et connectées en série par des conducteurs de liaison avant (12) et arrière (13) et des éléments d'interconnexion (14). Les conducteurs de liaison peuvent être formés sur la face interne de chaque substrat de verre en regard de l'emplacement de chacune des cellules ou obtenus par découpe au laser, à travers les substrats de verre, de bandes conductrices préalablement tendues entre les cellules et les substrats de verre. Les éléments d'interconnexion électrique (14) sont disposés entre deux cellules (1) adjacentes pour connecter les conducteurs de liaison opposés associés à deux cellules adjacentes. Un joint de scellement (16), en matériau minéral, disposé entre les deux substrats de verre (10, 11), délimite un volume intérieur étanche à l'intérieur duquel

[Suite sur la page suivante]

WO 03/038911 A1



(81) États désignés (*national*) : AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NO, NZ, OM, PH, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, SL, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(84) États désignés (*régional*) : brevet ARIPO (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), brevet eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), brevet

européen (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, SK, TR), brevet OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

**Publiée :**

— avec rapport de recherche internationale

*En ce qui concerne les codes à deux lettres et autres abréviations, se référer aux "Notes explicatives relatives aux codes et abréviations" figurant au début de chaque numéro ordinaire de la Gazette du PCT.*

## **Assemblage de cellules photovoltaïques et procédé de fabrication d'un tel assemblage**

### **Assemblage de cellules photovoltaïques**

5

### **Domaine technique de l'invention**

L'invention concerne un assemblage de cellules photovoltaïques disposées côte  
10 à côte entre des substrats de verre avant et arrière et connectées en série par  
des conducteurs de liaison avant et arrière respectivement disposés de part et  
d'autre de chacune des cellules et comportant une zone de liaison dépassant  
d'un côté prédéterminé dudit emplacement, l'assemblage comportant des  
15 éléments d'interconnexion électrique disposés entre deux cellules adjacentes  
pour connecter les zones de liaison opposées des conducteurs de liaison avant  
et arrière respectivement associés à deux cellules adjacentes.

L'invention concerne également un procédé de fabrication d'un tel assemblage.

### **État de la technique**

20

Une cellule photovoltaïque est classiquement formée sur un substrat en silicium  
massif découpé sous forme de tranches de quelques centaines de microns  
d'épaisseur. Le substrat peut être constitué de silicium monocristallin, de  
silicium polycristallin ou de couches semiconductrices déposées sur un substrat  
25 de verre ou de céramique. Elle possède à sa surface un réseau d'électrodes  
étroites, généralement en argent ou en aluminium, destinées à drainer le  
courant vers une ou plusieurs électrodes principales de 1 à quelques millimètres  
de largeur, également en argent ou en aluminium.

Chaque cellule fournit un courant dépendant de l'éclairement sous une tension électrique qui dépend de la nature du semiconducteur et qui est habituellement de l'ordre de 0,45V à 0,65V pour le silicium cristallin. Des tensions de 6V à plusieurs dizaines de volts étant habituellement nécessaires pour faire  
5 fonctionner des appareils électriques, un module photovoltaïque est généralement constitué par un assemblage de plusieurs cellules en série. Un module de 40 cellules fournit par exemple près de 24 volts. Selon les courants demandés, plusieurs cellules peuvent également être placées en parallèle. Un générateur peut ensuite être réalisé en y adjoignant éventuellement des  
10 accumulateurs, un régulateur de tension, etc ...

Pour fabriquer un module photovoltaïque, les cellules sont préparées, c'est-à-dire recouvertes d'un réseau d'électrodes et connectées entre elles par des rubans métalliques. L'ensemble ainsi formé est ensuite placé entre deux feuilles  
15 de polymère, elles-mêmes enserrées entre deux substrats de verre. L'ensemble est alors chauffé aux environs de 120°C pour ramollir fortement le polymère, le rendre transparent et assurer la cohésion mécanique du module.

Une cellule photovoltaïque au silicium cristallin ainsi préparée est illustrée à la  
20 figure 1, en vue de dessus. La cellule 1 comporte sur la face avant d'un substrat de silicium, face supérieure qui constitue sa face sensible, un réseau d'électrodes en argent 2 destinées à drainer le courant vers des zones de connexion. Ces dernières sont constituées, sur la figure 1, par deux électrodes, plus larges, constituant des bus collecteurs 3 perpendiculaires au réseau  
25 d'électrodes 2. Les électrodes 2 sont réalisées par dépôt d'une pâte d'argent selon le motif désiré, puis cuisson à haute température. Des rubans métalliques transversaux avant 4, constitués par une âme en cuivre et un dépôt superficiel d'un alliage étain-plomb, sont soudés avec un alliage étain-plomb sur les bus collecteurs 3 de la cellule. La face arrière de la cellule 1 comporte un second

réseau d'électrodes, réseau généralement plus dense que le réseau d'électrodes 2 de la face avant. Le second réseau d'électrodes est, de manière analogue, relié à des rubans métalliques transversaux arrière 5 par l'intermédiaire de bus collecteurs.

5

Les figures 2 et 3 illustrent respectivement la face avant et la face arrière d'une cellule classique avant placement des rubans métalliques transversaux 4 et 5. Sur la face avant, les bus collecteurs 3 et des plots de soudure 6, répartis régulièrement le long des bus collecteurs 3, peuvent être déposés en même temps que le réseau d'électrodes 2, par exemple par sérigraphie du substrat de silicium. La face arrière de la cellule peut être recouverte d'une couche d'aluminium recouvrant pratiquement la totalité de la surface arrière et constituant le second réseau d'électrodes, des pistes de soudure 7 étant préalablement formées aux emplacements des bus collecteurs 3.

10

15

Les figures 4 et 5 illustrent respectivement la face avant et la face arrière d'une cellule classique après placement et fixation par soudure des rubans métalliques transversaux 4 et 5. Comme représenté à la figure 6, une couche de soudure 48 (étain/plomb) est préalablement déposée entre les rubans 4 et 5 et les pistes et les plots de soudure.

20

Ce type de procédé de fabrication implique une large consommation de pâte de soudure à base d'argent et d'aluminium, très coûteuse. De plus, les bus collecteurs 3 et les plots de soudure 6 provoquent un large taux d'ombre sur la face avant de la cellule, réduisant ainsi la puissance générée par celle-ci. De plus, le dépôt de la couche en aluminium sur la surface de la face arrière non couverte par les pistes de soudure 7 implique deux étapes de sérigraphie ou de métallisation bien alignées. La soudure elle-même est une opération coûteuse, mécaniquement compliquée, nécessitant le retournement de la cellule et

25

pouvant entraîner des risques non négligeables de casse de la cellule. Il est, de plus, nécessaire de bien aligner les rubans métalliques transversaux 4 et 5 respectivement avec les bus collecteurs 3 de la face avant et avec les pistes de soudure 7 de la face arrière. En cas de mauvais alignement, la cellule risque d'être détruite lors de la soudure et le taux d'ombre sur la face avant peut être augmenté. Il est, par ailleurs, difficile de réaliser des soudures sur les mêmes positions sur les faces avant et arrière et les contacts déjà soudés sur une des faces risquent de se dessouder lors de la soudure sur l'autre face.

La figure 6 représente un module photovoltaïque comportant seulement deux cellules 1 pour simplifier le dessin. Les cellules 1 sont représentées en coupe selon l'axe AA de la figure 1. Les rubans 5 d'une première cellule 1a sont reliés aux rubans 4 de la cellule 1b voisine. Si le module comporte plus de deux cellules, les rubans 5 de la cellule 1b sont alors connectés aux rubans 4 de la cellule suivante, toutes les cellules étant ainsi connectées en série. En pratique, un ruban 5 d'une cellule et le ruban 4 associé de la cellule voisine sont constitués par un même ruban. Les rubans 4 et 5 des cellules d'extrémité servent de connecteurs vers l'extérieur. Deux feuilles de film polymère 8 et 9 sont disposées de part et d'autre de l'ensemble de cellules et insérées entre des substrats de verre avant 10 et arrière 10. Pour réduire le poids, certains modules ne comportent pas de substrat de verre sur la face arrière, celle-ci étant alors constituée par le film polymère 10.

Le film polymère a une quadruple fonction. Il assure tout d'abord la cohésion mécanique du module et forme une barrière contre l'humidité. Il sert, par ailleurs, de couche d'adaptation d'indice entre le verre et le silicium, réduisant ainsi au maximum les pertes par réflexion de lumière aux interfaces. Enfin, il permet une évacuation de la chaleur, ce qui est essentiel car le rendement de conversion photovoltaïque décroît avec la température.

Dans le document DE-A-4128766, les rubans métalliques transversaux sont remplacés par des conducteurs de liaison avant et arrière respectivement formés sur la face interne des substrats de verre avant 10 et arrière 11 en regard de l'emplacement de chacune des cellules. Les conducteurs de liaison sont ensuite soudés sur les cellules et sur des éléments d'interconnexion destinés à connecter les cellules en série. L'espace restant entre les substrats de verre est ensuite rempli par une résine organique

Tous les assemblages connus présentent une médiocre résistance à la diffusion de vapeur d'eau vers le silicium, ce qui dégrade le rendement de conversion des cellules en quelques années. On peut également noter une conduction thermique moyenne du polymère qui entraîne une augmentation de la température et une baisse du rendement. La soudure des rubans et l'assemblage des cellules constituent également un handicap car ce sont des opérations longues pouvant casser les cellules et entraîner un coût de production élevé.

## **Objet de l'invention**

L'invention a pour but de remédier à ces inconvénients et, plus particulièrement, de fournir un assemblage de cellules photovoltaïques permettant d'écarter les problèmes de dégradation du rendement des cellules. L'assemblage doit, de préférence, avoir également un très bas coût de fabrication.

Selon l'invention, ce but est atteint par les revendications annexées et plus particulièrement par le fait que l'assemblage comporte un joint de scellement en

matériau minéral, disposé entre les deux substrats de verre et délimitant un volume intérieur étanche à l'intérieur duquel sont disposées toutes les cellules

5 Selon un premier développement de l'invention, les conducteurs de liaison avant et arrière sont respectivement formés sur la face interne des substrats de verre avant et arrière, en regard de l'emplacement de chacune des cellules.

10 Selon un second développement de l'invention, l'assemblage comportant au moins une rangée de cellules photovoltaïques, les conducteurs de liaison arrière de toutes les cellules d'une rangée sont formés par découpe au laser d'une bande conductrice continue tendue entre les cellules et le substrat arrière, les conducteurs de liaison avant de toutes les cellules d'une rangée étant formés par découpe au laser d'une bande conductrice tendue entre les cellules et le substrat avant et parallèle à la bande conductrice formant les conducteurs de  
15 liaison arrière.

Un procédé de réalisation d'un assemblage selon l'invention comporte une opération de scellement de l'assemblage réalisée entre 380°C et 480°C, pendant une durée inférieure à 30mn.

20

### Description sommaire des dessins

25 D'autres avantages et caractéristiques ressortiront plus clairement de la description qui va suivre de modes particuliers de réalisation de l'invention donnés à titre d'exemples non limitatifs, et représentés aux dessins annexés, dans lesquels :



La figure 1 représente, en vue de dessus, une cellule photovoltaïque selon l'art antérieur.

Les figures 2 et 3 illustrent respectivement la face avant et la face arrière d'une cellule selon l'art antérieur avant placement de rubans métalliques transversaux.

5 Les figures 4 et 5 illustrent respectivement la face avant et la face arrière d'une cellule selon l'art antérieur après placement des rubans métalliques transversaux.

La figure 6 représente, en coupe, un module photovoltaïque selon l'art antérieur comportant deux cellules selon la figure 1, en coupe selon A-A.

10 Les figures 7 et 8 illustrent respectivement la face avant et la face arrière d'un mode de réalisation particulier d'une cellule selon l'invention avant encapsulation.

La figure 9 représente, en coupe, un premier mode de réalisation d'un assemblage selon l'invention.

15 Les figures 10 et 11 représentent respectivement, en vue de dessus, un substrat avant (figure 10) et un substrat arrière (figure 11) d'un assemblage selon la figure 9.

Les figures 12 et 13 illustrent des variantes de réalisation des conducteurs de liaison formés sur le substrat arrière d'un assemblage selon le premier mode de réalisation.

20 La figure 14 représente, en vue de dessus, un autre mode particulier de réalisation d'un assemblage selon l'invention.

La figure 15 représente, en coupe, une autre variante de réalisation d'un assemblage selon la figure 9.

25 La figure 16 représente, en vue de dessus, la connexion de deux cellules d'un assemblage selon un second mode particulier de réalisation de l'invention.

La figure 17 représente, en coupe, une partie d'un assemblage selon la figure 16.

La figure 18 illustre, en vue de dessus, un module composé de 6 cellules.

Les figures 19 et 20 représentent des détails du module selon la figure 18, en coupe respectivement selon B-B et selon C-C.

La figure 21 illustre une variante de réalisation d'un conducteur d'interconnexion avec l'extérieur.

5 La figure 22 représente, en vue de dessus, un autre mode particulier de réalisation d'un assemblage selon l'invention.

La figure 23 représente, en coupe selon D-D, des détails du module selon la figure 22.

10 La figure 24 représente, en vue de dessus, une zone correspondant à deux cellules d'un mode particulier de réalisation d'un assemblage selon l'invention.

La figure 25 représente, en coupe selon E-E, des détails du module selon la figure 24.

La figure 26 illustre une variante de réalisation de l'assemblage selon la figure 16.

15 La figure 27 illustre une autre variante d'un assemblage selon l'invention.

Les figures 28 et 29 illustrent plus en détail le montage d'une tige à travers le substrat arrière d'un assemblage selon les figures 15 et 20.

La figure 30 illustre plus en détail la connexion externe d'un assemblage selon les figures 15 et 20.

20

### **Description de modes particuliers de réalisation.**

25 Les figures 7 et 8 illustrent respectivement la face avant et la face arrière d'une cellule 1 selon l'invention avant encapsulation. La face avant comporte seulement le réseau d'électrodes 2 fines, de 50 à 120  $\mu\text{m}$  de large. Les bus collecteurs 3 et les plots de soudure 6 peuvent être supprimés, ce qui permet de réduire la surface encombrée par la métallisation et, ainsi, d'augmenter l'absorption de la lumière et, en conséquence, le courant et la puissance

générée par la cellule, tout en réduisant la consommation de métal utilisé, notamment de la pâte d'argent. La face arrière comporte un second réseau d'électrodes, généralement plus dense ou, comme représenté sur la figure 8, une couche métallique, de préférence en aluminium recouvrant pratiquement la totalité de la surface arrière, ce qui permet d'augmenter les performances de la cellule par la création d'un champ arrière. Les pistes de soudure 7 étant supprimés, le coût d'une cellule est ainsi diminué à la fois par réduction de la quantité d'argent nécessaire et par simplification du processus de fabrication. En effet, la totalité de la face arrière peut alors être métallisée en une seule étape. Par ailleurs, l'impact mécanique sur les cellules et le risque de casse de cellules, associé à la métallisation, par exemple par sérigraphie et séchage, par exemple dans un four, sont réduits.

L'assemblage selon la figure 9 comporte, comme le module de la figure 6, des cellules photovoltaïques 1 adjacentes insérées entre des substrats de verre avant 10 et arrière 11. Seules deux cellules 1a et 1b, du type représenté aux figures 7 et 8, sont représentées sur la figure 9 pour des raisons de clarté.

Un réseau de conducteurs de liaison avant 12, destinés à remplir les fonctions des rubans métalliques transversaux avant 4, est formé sur le substrat de verre avant 10. Au moins un conducteur de liaison avant 12 est disposé en regard de l'emplacement de chaque cellule 1. Les conducteurs de liaison avant 12 comportent une zone de liaison qui dépasse d'un côté de l'emplacement de la cellule 1 correspondante, sur la gauche dans le mode de réalisation représenté sur la figure 9. Cependant la distance séparant deux cellules adjacentes est telle que deux conducteurs de liaison avant 12 adjacents, c'est-à-dire associées à deux cellules adjacentes, ne sont pas en contact. De manière analogue, un réseau de conducteurs de liaison arrière 13, destinés à remplir les fonctions des rubans métalliques transversaux arrières 5, est formé sur le substrat de verre

arrière 11. Au moins un conducteur de liaison arrière 12 est disposé en regard de l'emplacement de chaque cellule 1. Les conducteurs de liaison arrière 13 comportent chacun une zone de liaison qui dépasse de l'autre côté de l'emplacement de la cellule 1 correspondante, c'est-à-dire sur la droite dans le mode de réalisation représenté sur la figure 9. Il n'y a pas de contact entre deux conducteurs de liaison arrière 13 adjacents.

L'assemblage comporte également des éléments 14 d'interconnexion électrique, destinés à relier électriquement, entre deux cellules adjacentes (1a et 1b, etc...), les zones de liaison opposées des conducteurs de liaison avant 12 et arrière 13 associés à deux cellules adjacentes et respectivement formées sur les substrats de verre avant 10 et arrière 11. Des connecteurs 15 d'interconnexion avec l'extérieur sont disposés sur les zones de liaison externes des conducteurs de liaison avant 12 et arrière 13 des cellules d'extrémité de l'assemblage pour permettre la connexion de l'assemblage avec l'extérieur.

Les éléments d'interconnexion électrique 14 entre les électrodes de liaison des substrats de verre avant et arrière doivent permettre la conduction électrique la plus élevée possible. Dans un mode de réalisation préférentiel, ils ont la forme de plots de  $1\text{mm}^2$  à  $100\text{mm}^2$  de section. Les plots sont de préférence cylindriques, de 1mm à 10mm de diamètre, plus typiquement de 2mm à 4mm. Ils peuvent être obtenus par dépôt d'une pâte contenant un matériau conducteur en poudre. Le matériau conducteur peut être constitué par des grains d'argent ou d'alliage d'argent liés par un liant minéral, tel qu'une phase vitreuse. Le liant peut également comporter un composé métallique fusible, qui assure une bonne conduction entre les grains d'argent ou d'alliage d'argent, et éventuellement une petite fraction d'un liant minéral tel qu'une phase vitreuse. À titre d'exemple, les plots peuvent être formés à partir d'un mélange de particules d'argent et de

particules d'un verre tel qu'un borosilicate de bismuth ou d'un mélange de particules d'argent et de particules d'un alliage étain-plomb. Les plots peuvent aussi être constitués par un mélange de particules métalliques (au moins 20%), d'un liant minéral (au plus 40%) et d'un métal (au plus 80%) choisi parmi le plomb, l'étain ou un alliage partiellement fusible à moins de 450°C. Ils peuvent encore être constitués par un alliage métallique dont au moins une fraction est fondue avec un équilibre entre les phases liquide et solide à la température d'utilisation, c'est-à-dire à la température de l'opération de scellement ultérieure, comprise entre 380°C et 480°C. Un tel alliage peut, par exemple, être un alliage étain-plomb-argent, étain-plomb-cuivre ou étain-plomb-zinc. La présence dans la composition d'une fraction d'un alliage fusible à basse température permet d'écraser le plot et de le ramener à la hauteur désirée lors de l'opération de scellement, sans exercer de force importante sur le plot.

Un joint 16 en matériau minéral est disposé entre les substrats de verre avant 10 et arrière 11, à la périphérie de l'assemblage, de manière à délimiter un volume intérieur étanche à l'intérieur duquel sont disposées toutes les cellules 1. Le ramollissement en température du matériau minéral constituant le joint 16 permet de sceller ensemble les substrats de verre avant 10 et arrière 11. Le joint de scellement 16 a une épaisseur de plusieurs centaines de microns, qui dépend surtout de l'épaisseur des substrats de silicium constituant les cellules 1, à laquelle s'ajoute l'épaisseur des conducteurs de liaison avant 12 et arrière 13 formés respectivement sur les substrats de verre avant et arrière.

Le joint de scellement 16 a, de préférence, une largeur comprise entre 2mm et 10mm, plus typiquement entre 3mm et 5mm. Il est, de préférence, constitué par un verre de scellement dont la température de ramollissement est aussi basse que possible et dont le ramollissement en température permet la soudure du substrat avant 10 sur le substrat arrière 11. Ce type de produit est classique

5 dans l'industrie des écrans de visualisation à plasma ou des tubes à rayons cathodiques. Il s'agit, par exemple, d'un silicate de plomb ou d'un borosilicate de plomb contenant éventuellement quelques éléments d'addition. Le verre de scellement est, de préférence, du type non cristallisable, bien que cela ne soit pas absolument nécessaire. La granulométrie de la fritte du verre de scellement est telle que le diamètre moyen est compris entre 2µm et 100µm, plus typiquement entre 6µm et 40µm.

10 Le joint 16 est déposé sur l'un des substrats de verre ou sur les deux substrats de verre 10 et 11, selon un chemin décrit ci-dessous, c'est-à-dire soit le long des quatre côtés soit, généralement, le long de trois côtés de l'assemblage et en retrait sur un quatrième côté. L'épaisseur du joint 16 est de 0,2mm à 1mm et dépend de l'épaisseur des cellules 1 et des conducteurs de liaison 12 et 13.

15 Au cours de l'opération de scellement, qui a lieu entre 380°C et 480°C pendant une durée inférieure à 30 minutes, le matériau du joint de scellement 16 se ramollit fortement et rend le volume intérieur au joint de scellement étanche vis-à-vis de l'extérieur. Toute diffusion d'eau vers l'intérieur du module sera interdite pendant toute la durée de vie du module. La pression du volume intérieur est de l'ordre d'une atmosphère à la température de scellement. La pression finale, après refroidissement à la température ambiante, est inférieure, par exemple de 20 l'ordre de 400millibars environ. Une dépression vis-à-vis de l'extérieur se forme donc automatiquement à l'intérieur de l'assemblage et entraîne l'application d'une force par les substrats de verre 10 et 11 sur les cellules 1. Cette force assure un excellent contact entre les cellules 1 et les conducteurs de liaison avant 25 12 et arrière 13 déposés sur les substrats de verre sans qu'il soit nécessaire de disposer une soudure entre les cellules 1 et les conducteurs de liaison.

Ce procédé de fabrication permet d'éliminer tous les éléments nécessaire à la soudure tout en assurant un degré élevé de protection des cellules

5 Selon un développement de l'invention, le volume intérieur étanche compris entre les deux substrats de verre 10 et 11 est rempli, lors de l'opération d'assemblage, par un mélange d'un ou plusieurs gaz neutres, choisis parmi l'azote, l'hélium, le néon ou l'argon. Le mélange peut également comporter de l'hydrogène ou du méthane. La présence d'une telle atmosphère neutre ou réductrice permet de conserver aux cellules 1 en silicium un excellent  
10 rendement de conversion. Typiquement, et pour éviter les risques dus à la présence d'hydrogène ou de méthane, le mélange comporte moins de 8% d'hydrogène ou de méthane.

15 La figure 10 représente une vue de dessus du substrat de verre avant 10 avec des conducteurs de liaison avant 12. Deux cellules 1a et 1b sont représentées en pointillés. Un conducteur de liaison avant 12, déposé sur le substrat de verre avant 10, est positionné de façon à venir en contact avec la face avant de la cellule 1 correspondante et comporte une zone de liaison dépassant d'un côté de la cellule (à gauche sur la figure 10) pour assurer le contact avec un élément  
20 d'interconnexion 14 ou, pour la cellule située à l'extrémité gauche de l'assemblage, avec l'extérieur par un connecteur 15 d'interconnexion avec l'extérieur.

25 De manière analogue, la figure 11 représente une vue de dessus du substrat de verre arrière 11 avec des conducteurs de liaison arrière 13 et deux cellules 1a et 1b représentées en pointillés. Une conducteur de liaison arrière 13, déposé sur le substrat arrière 11, est positionné de façon à venir en contact avec la face arrière de la cellule 1 correspondante et comporte une zone de liaison dépassant d'un côté de la cellule (à droite sur la figure 5) pour assurer le contact

avec un élément d'interconnexion 14 ou, pour la cellule située à l'extrémité droite de l'assemblage, avec l'extérieur par un connecteur 15 d'interconnexion avec l'extérieur.

- 5 Dans le mode de réalisation particulier des figures 9 à 11, le joint 16 est localisé à la périphérie de la surface commune aux deux substrats de verre 10 et 11. Il est ainsi disposé sur la périphérie de chacun des substrats de verre sauf sur un côté (le côté gauche pour le substrat de verre avant 10 et le côté droit pour le substrat de verre arrière 11), afin de permettre l'accès depuis l'extérieur aux
- 10 connecteurs 15 de liaison avec l'extérieur. Les zones de liaison des conducteurs de liaison 12 ou 13 des cellules d'extrémité font ainsi saillie vers l'extérieur au-delà du joint 16.

- 15 Le motif du réseau de conducteurs de liaison avant 12 formés sur le substrat de verre avant 10 d'une cellule 1 peut être quelconque. La surface couverte par les électrodes de liaison 12 doit cependant être minimale, de façon à conserver une transmission optique maximale pour le substrat avant. Par ailleurs, la conduction doit être aussi élevée que possible pour réduire les pertes ohmiques. Chaque cellule 1 comporte au moins conducteurs de liaison avant 12, deux conducteurs
- 20 de liaison 12 parallèles dans le mode de réalisation représenté à la figure 10. Dans un mode de réalisation particulier, les conducteurs de liaison avant 10 ont chacune une largeur généralement comprise entre 0,2mm et 5mm, plus typiquement comprise entre 1,5mm et 3mm.

- 25 Le motif du réseau de conducteurs de liaison arrière 13 formés sur le substrat de verre arrière 11 peut être du même type que le motif du réseau de conducteurs de liaison avant. Sur la figure 11, par exemple, chaque cellule 1 comporte deux conducteurs de liaison arrière 13 parallèles. Cependant, lorsque la face arrière n'est pas active optiquement, il n'y a pas de contrainte sur la



transmission optique du substrat de verre arrière et le motif du réseau de conducteurs de liaison arrière est choisi de manière à ce que la conduction soit maximale. Selon une première variante de réalisation, la largeur des conducteurs de liaison arrière 13 est élevée, chaque conducteurs de liaison arrière 13 pouvant, par exemple, avoir une largeur comprise entre 3mm et 10 mm, plus typiquement comprise entre 3mm et 5 mm.

Selon une seconde variante de réalisation représentée à la figure 12, la densité du réseau de conducteurs de liaison arrière 13, c'est-à-dire le nombre de conducteurs de liaison arrière 13 par cellule 1, est plus élevée. Ainsi sur la figure 12 le réseau de conducteurs de liaison arrière 13 est plus dense. Chaque conducteur de liaison arrière 13 a une faible largeur, comprise entre 0,5mm et 3mm, plus typiquement entre 1mm et 2mm, avec un pas de 1mm à 10mm, plus typiquement de 2mm à 4mm. Les conducteurs de liaison arrière 13 sont alors court-circuités par une électrode collectrice 17 qui vient en contact avec les éléments d'interconnexion 14 ou un connecteur 15 d'interconnexion avec l'extérieur. Dans ce cas, un seul connecteur 15 d'interconnexion avec l'extérieur est nécessaire sur le substrat de verre arrière 11.

Selon une troisième variante de réalisation, représentée à la figure 13, un conducteurs de liaison arrière 13' couvre la totalité ou la presque totalité de la surface de l'emplacement d'une cellule 1.

Les substrats de verre 10 et 11 sont, de préférence, constitués par un verre sodo-calcique de 1,6 à 6mm d'épaisseur, une valeur typique étant de 3 à 4mm pour le substrat de verre avant 8 et de 2 à 4mm pour le substrat de verre arrière 11. Le verre est avantageusement un verre clair ou extra blanc, c'est-à-dire contenant peu de fer, car la transmission optique d'un tel verre est optimale. Le

verre peut également avoir subi une trempe thermique afin d'augmenter sa résistance mécanique.

5 Les conducteurs de liaison avant 12 et arrière 13 peuvent être réalisés en argent ou en un alliage riche en argent selon un procédé classique dans l'industrie des écrans de visualisation, des panneaux à plasma en particulier. Ce procédé classique comprend le dépôt du motif désiré à partir d'une pâte d'argent, puis la cuisson entre 400°C et 600°C. L'épaisseur des conducteurs de liaison avant 12 et arrière 13 est comprise entre 2µm et 15µm, plus typiquement  
10 entre 4µm et 7µm.

Selon une variante de réalisation, le procédé classique connu, décrit ci-dessus, est modifié et la cuisson suivant le dépôt d'une pâte d'argent est effectuée à une température comprise entre 620°C et 660°C. Une telle cuisson, suivie d'un  
15 refroidissement rapide comme cela est pratiqué pour les trempes thermiques, permet de réduire la durée du cycle thermique, de réduire très fortement la résistivité du matériau d'électrodes ainsi que d'obtenir le durcissement du verre par trempe thermique. En conséquence, il est alors possible de ne pas tremper le verre des substrats 10 et 11 avant le dépôt des conducteurs de liaison.

20

Dans une variante particulière de réalisation, la cuisson est complétée par une opération de recharge des conducteurs de liaison par voie chimique ou électrochimique. L'opération de recharge est notamment connue dans le domaine des circuits imprimés. Elle consiste, classiquement, à déposer une ou  
25 plusieurs couches d'un métal ou d'un alliage métallique sur les conducteurs existants en argent ou en alliage d'argent. Cette méthode permet de déposer des conducteurs en argent peu épais, donc de réduire le coût du matériau argent. Cette variante permet aussi de procéder à une cuisson à basse température des conducteurs en argent pour dégrader les liants organiques

initialement contenus dans la pâte d'argent. Elle n'impose pas de cuisson haute température de la pâte d'argent, bien qu'elle soit compatible avec une telle cuisson. Elle permet enfin, par recharge chimique ou électrochimique, d'augmenter fortement la conductivité des conducteurs et éventuellement de les recouvrir d'une couche de protection. L'avantage tiré de cette méthode est donc une forte réduction du coût et une amélioration des performances des conducteurs.

On peut, par exemple, déposer et cuire des conducteurs de liaison en argent d'une épaisseur cuite de  $2\mu\text{m}$  à  $3\mu\text{m}$ , déposer ensuite une couche de cuivre par voie chimique comme il est classique de le faire pour les circuits imprimés, et enfin déposer, toujours par voie chimique, une mince couche de protection en nickel ou en argent. L'épaisseur de cuivre déposé peut varier de  $2\mu\text{m}$  à plus de  $100\mu\text{m}$ , une valeur typique étant de  $50\mu\text{m}$ . L'épaisseur de nickel ou d'argent déposé pourra varier de  $0.1\mu\text{m}$  à plus de  $2\mu\text{m}$ , une valeur typique étant de  $1\mu\text{m}$ .

Selon une autre variante de l'invention, les conducteurs de liaison avant 12 et arrière 13 peuvent également être réalisés par une technologie de type couche mince, classiquement utilisée pour la réalisation des électrodes des panneaux de visualisation à plasma. Le matériau peut alors être un matériau multicouche composé d'une couche d'accrochage comme du chrome, une couche de conduction comme du cuivre puis éventuellement une couche de protection, par exemple du nickel ou de l'argent.

La figure 14 illustre, en vue de dessus, un autre mode particulier de réalisation d'un assemblage selon l'invention. Il se distingue du mode de réalisation des figures 9 à 11 par la localisation des connecteurs d'interconnexion avec l'extérieur sur le substrat de verre arrière 11. Les connecteurs 15' de liaison

avec l'extérieur des conducteurs de liaison arrière 13 associés à la cellule (1b) la plus à droite sont disposés sur un côté de l'assemblage qui est perpendiculaire au côté de sortie des connecteurs 15 de liaison avec l'extérieur des conducteurs de liaison avant 12 associés à la cellule (1a) la plus à gauche  
5 de l'assemblage. Le joint de scellement 16 est, comme précédemment, disposé à la périphérie de la surface commune aux deux substrats.

Selon un autre mode de réalisation, représenté à la figure 15, les connecteurs 15 d'interconnexion avec l'extérieur sont formés par deux tiges métalliques 18  
10 qui traversent des orifices du substrat de verre arrière 11, de manière étanche, et qui sont connectées à l'intérieur de l'assemblage aux conducteurs de liaison 12 et 13 des cellules 1 extrêmes de l'assemblage. Sur la figure 15, les substrats de verre 10 et 11 ont la même dimension et sont disposés face à face. Une première tige métallique 18a établit le contact avec un conducteur de liaison  
15 arrière 13 associé à la cellule 1 la plus à droite de l'assemblage. Pour établir le contact avec une électrode de liaison 12 de la cellule 1 la plus à gauche de l'assemblage, un conducteur de liaison additionnel 19 est formé sur le substrat arrière 11 autour de l'un des orifices. Il permet de reporter le contact avec le conducteur de liaison avant 12, formé sur le substrat de verre avant 10, sur le  
20 substrat de verre arrière 11, par l'intermédiaire d'un élément d'interconnexion additionnel 20, analogue aux éléments d'interconnexion 14. Une seconde tige métallique 18b sert à établir et à sortir le contact avec le conducteur de liaison additionnel 19. Un joint 21 d'étanchéité en matériau minéral, par exemple du même type que le joint 16, est réalisé entre les tiges et le substrat arrière  
25 (figures 28 et 29). L'étanchéité est obtenue par ramollissement du matériau lors de l'opération ultérieure de scellement de l'assemblage.

La fabrication d'un assemblage selon le premier mode de réalisation, dans lequel les conducteurs de liaison sont formés sur les substrats de verre, va être

décrit plus en détail ci-dessous, pour la réalisation d'un assemblage contenant 8 cellules photovoltaïques 1 de 12,5cm x 12,5 cm et de 200µm. d'épaisseur.

5 On dispose de deux substrats de verre de 550mm x 275mm, par exemple en verre sodo-calcique. L'un d'eux, destiné à constituer le substrat de verre avant 10 est, de préférence, en verre sodo-calcique clair, c'est-à-dire contenant peu de fer. L'épaisseur des substrats de verre est, de préférence, comprise entre 2mm et 4mm (par exemple 3mm). Au-dessus de ces valeurs, le poids devient trop important, tandis qu'au-dessous, les substrats sont trop fragiles. Dans le 10 mode de réalisation particulier de la figure 15, le substrat de verre arrière est percé de deux orifices de 4mm de diamètre pour le passage des tiges 18.

15 Pour réaliser les conducteurs de liaison sur les substrats de verre 10 et 11, on prépare un mélange d'une poudre de verre et de 80% à 97% d'une poudre d'argent, d'un alliage d'argent, de cuivre nickelé ou de cuivre argenté. La poudre de verre est, de préférence, constituée par du silicate de plomb de granulométrie moyenne comprise entre 0,3µm et 3µm (de préférence 0,5µm), à 12% à 20% (de préférence 15%) de silice. La poudre d'argent a une granulométrie moyenne comprise entre 0,5µm et 2µm (de préférence 1µm). Ce 20 mélange de poudres est mis en suspension dans une solution, constituée de propylène glycol ou de butylène glycol, additionnée d'éthyl-cellulose. La pâte a une viscosité de 5000 centipoises à 200.000 centipoises (de préférence de l'ordre de 20.000 centipoises).

25 Les conducteurs de liaison sont déposés sur les substrats de verre 10 et 11 par sérigraphie. Ils sont déposés selon un motif constitué de bandes de longueur voisine ou légèrement supérieure à la largeur d'une cellule 1, par exemple de 130 mm de long, sur le substrat de verre avant 10. Le nombre de bandes associées à chaque cellule 1 est compris entre 2 et 10, la largeur d'une bande

étant fonction de la densité du motif choisi. La largeur d'une bande peut ainsi être de l'ordre de 2mm pour un motif à 2 bandes et de l'ordre de 0,2mm pour un motif à 10 bandes. Sur le substrat de verre arrière 11, on peut réaliser une surface pleine de 120 x 120 mm par cellule (figure 13), 2 bandes d'environ 5mm de large (figure 11), 10 bandes d'environ 1mm de large ou un réseau fin plus dense avec des bandes de 0,2mm à 0,3mm de large (figure 12). Dans le mode de réalisation particulier de la figure 15, un conducteur de liaison additionnel 19 est déposé sur le substrat de verre arrière 11 autour de l'un des orifices. Après séchage à 140°C pendant 10 minutes dans un four à air chaud, l'épaisseur sèche des conducteurs de liaison est comprise entre 5µm et 15µm (de préférence 12µm).

Les substrats de verre sont ensuite cuits afin de faire adhérer les conducteurs de liaison sur les substrats et de brûler les composants organiques contenus dans le dépôt. Cette cuisson est effectuée à une température de 450°C à 680°C, pendant 10 minutes, et est éventuellement suivie d'une trempe thermique (à plus de 600°C) qui confère aux substrats de verre une grande résistance mécanique. Dans le cas où une opération de recharge est prévue, l'épaisseur sèche est de préférence plus faible, par exemple de l'ordre de 3µm. La recharge des conducteurs de liaison est alors réalisée par dépôt chimique, par exemple de 50µm de cuivre et de 1µm d'argent. Une couche réfléchissante peut éventuellement être réalisée sur la face interne du substrat de verre arrière 11, sur les zones non recouvertes par les électrodes de liaison.

Pour réaliser les éléments d'interconnexion 14 et 20, on prépare ensuite un mélange à 60% à 80% d'une poudre de cuivre nickelé, d'argent ou de cuivre argenté, de granulométrie moyenne comprise entre 0,5µm et 5µm, et 40% à 20% d'une poudre de métal fusible (plomb ou étain-plomb) ou de verre à bas point de fusion (silicate de plomb, par exemple). Ce mélange de poudres est mis

en suspension dans une solution constituée de propylène glycol additionné d'éthyl-cellulose. La pâte a une viscosité de 50.000 à 200.000 centipoises (de préférence 100.000 centipoises). On dépose la pâte par sérigraphie sur les substrats de verre, de préférence sur le substrat de verre arrière 11 seulement, sous la forme de plots de 1mm à 5mm de diamètre (par exemple 3mm) disposés aux emplacements appropriés. On sèche ensuite ces plots à 140°C pendant 10 minutes dans un four à air chaud. Les plots ont alors une épaisseur sèche de l'ordre de 200µm, pour une cellule de 175µm à 300µm d'épaisseur, si la pâte a été déposée sur les deux substrats de verre et de l'ordre de 380µm si elle n'a été déposée que sur le substrat de verre arrière.

On dépose ensuite la fritte du verre de scellement destiné à former le joint 16. Pour cela on utilise une poudre d'une fritte de scellement de type non cristallisable sur la base d'une composition de borosilicate de plomb, de granulométrie moyenne comprise entre 5µm et 100µm (12µm par exemple) et dont la température de ramollissement est de 380°C. On met cette fritte en suspension dans une solution constituée de propylène glycol additionné d'éthyl-cellulose. La pâte a une viscosité de l'ordre de 40.000 centipoises. On dépose un cordon de pâte à l'aide d'une seringue à la périphérie du substrat de verre arrière (figure 15), sauf sur un côté où le cordon est déposé à 5 mm du bord dans les modes de réalisation représentés aux figures 9 à 14. Dans une variante de réalisation, la pâte est déposée sur les deux substrats. Ceci implique néanmoins que les deux substrats soient ensuite séchés et cuits, ce qui est plus coûteux. On sèche ensuite le cordon ainsi formé à 140°C pendant 10 minutes dans un four à air chaud. L'épaisseur sèche du cordon est fonction de l'épaisseur des cellules 1, typiquement comprise entre 300µm et 400 µm et sa largeur est comprise entre 3 mm et 6mm. On cuit alors le substrat de verre arrière à 400°C pendant 10 minutes.

On place ensuite les cellules 1 sur le substrat de verre arrière 11. Dans le mode de réalisation particulier de la figure 15, le montage des connexions à travers le substrat est alors réalisé (figure 29). On introduit, de préférence, cet ensemble dans un volume dont l'atmosphère est un mélange d'azote et d'hydrogène  
5 comportant de 0% à 8% d'hydrogène et dans lequel on positionne le substrat de verre avant 8. On place des pinces sur la périphérie de l'assemblage de façon à appliquer une force d'écrasement sur le cordon de scellement. L'ensemble est alors porté à une température comprise entre 410°C et 460°C pendant 10 minutes de façon à sceller les deux substrats. Dans une variante de réalisation,  
10 l'ensemble est assemblé à l'air avant d'être introduit dans un four dans lequel on crée un vide à 10 millibars et que l'on remplit ensuite d'un mélange d'azote et d'hydrogène avant chauffage. Après refroidissement, on retire les pinces. L'assemblage est alors prêt à être intégré dans un générateur.

15 Dans le mode particulier de réalisation représenté à la figure 16, les conducteurs de liaison 12 et 13 ne sont pas formés sur les substrats de verre. Les conducteurs de liaison arrière 13 de toutes les cellules d'une rangée de l'assemblage sont formés par découpe au laser de bandes conductrices continues tendues entre les cellules 1 et le substrat arrière 11. De manière  
20 analogue, les conducteurs de liaison avant 12 de toutes les cellules d'une rangée sont formés par découpe au laser de bandes conductrices tendues entre les cellules et le substrat avant 10 et parallèle aux bandes conductrices formant les conducteurs de liaison arrière. Deux conducteurs 12 associés à des cellules adjacentes et formé par découpe d'une bande conductrice sont alignés et  
25 séparés par un espace 22. Il n'y a donc pas de continuité électrique entre les conducteurs 12 associés à deux cellules adjacentes. De manière analogue, deux conducteurs 13 associé à deux cellules adjacentes sont alignés et séparés par un espace 23.



Comme précédemment, un joint de scellement 16 est disposé entre les substrats de verre avant 10 et arrière 11, à la périphérie de l'assemblage, de manière à délimiter un volume intérieur étanche à l'intérieur duquel sont disposées toutes les cellules 1. Comme précédemment, une dépression vis-à-vis de l'extérieur se forme automatiquement à l'intérieur de l'assemblage au cours de l'opération de scellement et entraîne l'application d'une force par les substrats de verre 10 et 11 sur les conducteurs de liaison 12 et 13. Ces conducteurs de liaison 12 et 13 appuient à leur tour sur les éléments d'interconnexion 14 et les cellules 1. Cette force assure un excellent contact entre les éléments d'interconnexion 14 et les conducteurs de liaison 12 et 13 d'une part, et entre les cellules 1 et les conducteurs de liaison 12 et 13 d'autre part. Dans le cas où un matériau de soudure a été déposé sur la surface des éléments d'interconnexion 14, par exemple de l'étain ou un alliage étain-plomb ou étain-plomb-argent, une soudure est obtenue entre les conducteurs de liaison 12 et 13 et les éléments d'interconnexion 14.

Un assemblage peut comporter plusieurs conducteurs de liaison arrière 13 par cellule 1, typiquement 2 à 5 conducteurs pour des cellules de dimensions comprises entre 100 mm x 100 mm et 200 mm x 200 mm, et plusieurs conducteurs 12 par cellule 1, typiquement 2 à 5 conducteurs pour des cellules de dimensions comprises entre 100 mm x 100 mm et 200 mm x 200 mm.

Les conducteurs de liaison arrière 13 sont formés d'un conducteur métallique plat, en général du cuivre, éventuellement recouvert d'un autre métal comme de l'étain ou de l'argent, ou des alliages étain-plomb ou étain-plomb-argent. La largeur de ces conducteurs sera comprise entre 0,5 et 8 mm, typiquement 4 mm. Leur épaisseur sera comprise entre 0,05 et 0,3 mm, typiquement 0,10 mm.

Les conducteurs de liaison avant 12 sont formés d'un conducteur métallique plat, en général du cuivre, éventuellement recouvert d'un autre métal comme de l'étain ou de l'argent, ou des alliages étain-plomb ou étain-plomb-argent. La largeur de ces conducteurs sera comprise entre 0,5 et 5 mm, typiquement 2 mm. Leur épaisseur sera comprise entre 0,05 et 0,3 mm, typiquement 0,12 mm.

Des éléments d'interconnexion 14 sont, comme précédemment, disposés entre deux cellules adjacentes de manière à relier électriquement la zone de liaison d'un conducteur de liaison avant 12 associé à une cellule 1a et la zone de connexion d'un conducteur de liaison arrière 13 associé à une cellule 1b adjacente (figures 16 et 17). Sur la figure 16, un conducteur de liaison avant 12 et un conducteur de liaison arrière 13 sont disposés en vis-à-vis, de part et d'autre de chaque cellule 1, le conducteur de liaison 13 faisant saillie vers la droite de la cellule et le conducteur de liaison 12 vers la gauche. Les éléments d'interconnexion 14 sont formés d'un conducteur métallique plat, en général du cuivre, éventuellement recouvert d'un autre métal comme de l'étain ou de l'argent, ou des alliages étain-plomb, étain-argent ou étain-plomb-argent. La largeur des éléments d'interconnexion 14 sera comprise entre 0,5 et 5 mm, typiquement 1,5 mm. Leur épaisseur dépend de l'épaisseur des cellules 1 et sera généralement comprise entre 0,15 mm et 0,5 mm, typiquement 0,3 mm.

Dans le mode de réalisation représenté à la figure 16, chaque cellule est associée à deux conducteurs de liaison avant 12 et à deux conducteurs de liaison arrière 13. Les conducteurs de liaison avant 12 associés à une même cellule sont interconnectés électriquement par l'intermédiaire de l'élément d'interconnexion 14 auquel leurs zones de liaison respectives sont connectées. Il en va de même pour les conducteurs 13 associés à une même cellule.

La figure 18 montre un exemple d'assemblage de six cellules en deux rangées de trois cellules, constituant ainsi trois colonnes de deux cellules. Dans le mode de réalisation représenté à la figure 18, les zones de liaison des conducteurs de liaison arrière 13 des cellules de la première rangée sont disposées sur la droite de la cellule, comme sur la figure 16, tandis que les zones de liaison des conducteurs de liaison arrière 13 des cellules de la seconde rangée sont disposées sur la gauche de la cellule. Des éléments d'interconnexion 14 sont disposés entre deux colonnes. Deux éléments d'interconnexion 14 associés à des cellules adjacentes d'une même colonne sont alignés et séparés par un espace 24.

Les conducteurs de liaison arrière 13 alignés des cellules appartenant à une même rangée sont formés par découpe d'une bande conductrice continue. Les bandes conductrices sont découpées par laser aux emplacements des espaces 23. Ainsi, une bande conductrice, destinée à former les conducteurs de liaison arrière 13 alignés de cellules d'une même rangée, est découpée au-delà de la zone de liaison de chaque conducteur de liaison arrière 13 considéré et de sa connexion avec un élément d'interconnexion 14, de manière à rompre la continuité électrique entre les conducteurs de liaison arrière 13 de deux cellules juxtaposées. De la même façon, les conducteurs de liaison avant 12 alignés des cellules appartenant à une même rangée sont formés par découpe d'une bande conductrice. Les bandes conductrices sont découpées par laser aux emplacements des espaces 22. Ainsi, une bande conductrice, destinée à former les conducteurs de liaison avant 12 alignés de cellules d'une même rangée, est découpée au-delà de la zone de liaison de chaque conducteur de liaison avant 12 considéré et de sa connexion avec un élément d'interconnexion 11, de manière à rompre la continuité électrique entre les conducteurs de liaison avant 12 de deux cellules juxtaposées.

La formation des conducteurs de liaison 12 et 13 s'effectue par découpe après positionnement des cellules 1 entre les bandes conductrices destinées à former les conducteurs 12 et 13.

5 De manière analogue, les éléments d'interconnexion 14 alignés, disposés entre deux colonnes adjacentes, peuvent être formés par découpe d'une bande conductrice continue. Pour cela, une bande conductrice continue destinée à former les éléments d'interconnexion 14 disposés entre deux conducteurs adjacents, est coupée, entre deux rangées de cellules, aux emplacements des  
10 espaces 24, de manière à rompre la continuité électrique entre deux rangées de cellules.

Sur la figure 18, un conducteur 26 d'interconnexion de rangées est placé d'un côté de l'assemblage de cellules (à droite sur la figure 18) pour assurer la  
15 connexion entre les deux rangées de cellules. Le conducteur 26 d'interconnexion de rangées connecte les conducteurs de liaison arrière 13 de la dernière cellule de la première rangée aux conducteurs de liaison avant 12 de la dernière cellule de la seconde rangée. Si l'assemblage comporte plus de deux rangées de cellules, des conducteurs 26 d'interconnexion de rangées sont  
20 placés sur les deux côtés de l'assemblage de cellules, de manière à connecter d'une part les conducteurs de liaison arrière 13 de la dernière cellule d'une rangée d'ordre impair aux conducteurs de liaison avant 12 de la dernière cellule de la rangée suivante et, d'autre part, les conducteurs de liaison arrière 13 de la première cellule d'une rangée d'ordre pair aux conducteurs de liaison avant 12  
25 de la première cellule de la rangée suivante.

Sur la figure 18, deux conducteurs d'interconnexion avec l'extérieur 27, placés de l'autre côté de l'assemblage (à gauche sur la figure 18), sont respectivement destinés à assurer la connexion des conducteurs de liaison avant 12 de la

première cellule de la première rangée et des connecteurs de liaison arrière 13 de la première cellule de la seconde rangée 12 avec deux connecteurs 15 d'interconnexion avec l'extérieur. Si l'assemblage comporte un nombre impair de rangées, un conducteur d'interconnexion avec l'extérieur 27 est disposé de  
5 chaque côté de l'assemblage de cellules, de manière à connecter aux deux connecteurs 15 les cellules extrêmes de l'assemblage, c'est-à-dire les conducteurs de liaison avant 12 de la première cellule de la première rangée et les conducteurs de liaison arrière 13 de la dernière cellule de la dernière rangée.

10

La figure 19 montre plus en détail, en coupe selon BB, la connexion entre la zone de liaison d'un conducteur de liaison avant 12 d'une cellule située à une extrémité de l'assemblage et le conducteur d'interconnexion avec l'extérieur 27.

15

Sur la figure 20 le connecteur 15 est formé, comme sur la figure 15, par une tige métallique 18 qui est pourvue d'une tête plate et traverse un orifice du substrat de verre arrière 11, de manière étanche. La tige métallique 18 est connectée à l'intérieur de l'assemblage au conducteur d'interconnexion avec l'extérieur 27 et est, de préférence, fixée sur le substrat arrière 11 par des éléments 28 de  
20 collage ou de soudure, de part et d'autre du substrat arrière. Les éléments 28 sont, de préférence, en matériau minéral dont le ramollissement en température permet la soudure entre les connecteurs et le substrat au cours de l'opération de scellement de l'assemblage. Le diamètre des orifices percés dans le substrat de verre arrière 9 peut aller de 1 mm à 12 mm, plus typiquement de 2 mm à 5  
25 mm. Les tiges métalliques 18 sont préférentiellement réalisées en un matériau bon conducteur électrique, par exemple en cuivre. Elles sont avantageusement revêtues d'une mince couche d'un métal peu oxydable, par exemple du nickel, de l'argent ou de l'or.

Dans une variante de réalisation, le module ne possède pas de conducteurs d'interconnexion avec l'extérieur 27, ni de connecteurs 15. Les conducteurs de liaison arrière 13 de la cellule d'une extrémité de l'assemblage et les conducteurs de liaison avant 12 liés à la cellule de l'extrémité opposée de l'assemblage sont alors prolongés au-delà du joint de scellement 16 et le traversent. Ces conducteurs de liaison 12 et 13 prolongés servent alors de connecteurs au module.

Les conducteurs 27 de connexion avec l'extérieur peuvent, comme représenté à la figure 21, servir également de connecteur 15 avec l'extérieur. Le conducteur 27 est alors réalisé, de préférence, avec un ruban épais, ayant par exemple une épaisseur de 0,1mm à 0,5mm, typiquement 0,4mm. Ce ruban épais est plié de manière à former une zone 29 en forme de U traversant un orifice du substrat de verre arrière 11, de manière à assurer une interconnexion avec l'extérieur. L'étanchéité du passage du ruban à travers l'orifice est assuré par un verre de scellement. Des sorties de ce type peuvent être utilisées pour former des sorties intermédiaires de l'assemblage entre les connecteurs 15, notamment pour permettre la protection des cellules par des diodes. En effet, la tension acceptable par les diodes de protection est limitée à quelques volts ou à quelques dizaines de volts et un diode de protection est généralement prévue toutes les 6 à 8 cellules, ce qui impose la présence de sorties intermédiaires.

Dans le mode de réalisation particulier des figures 22 et 23, qui illustre une géométrie que l'on peut obtenir lorsque les conducteurs de liaison 12 et 13 et les éléments d'interconnexion 14 sont formés par découpe de bandes conductrices continues, des éléments résiduels, respectivement 30, 31 et 32, des bandes conductrices continues traversent le joint de scellement 16. Ils sont isolés électriquement des conducteurs de liaison et des éléments

d'interconnexion, respectivement 12, 13 et 14, par des espaces, respectivement 33, 34 et 35.

5 Dans une variante de réalisation schématisée aux figures 24 et 25, une couche de matériau minéral est déposée sur les bandes conductrices destinées à former les conducteurs de liaison arrière 13 dans des zones qui ne sont ni en regard des cellules 1 ni en regard des éléments d'interconnexion 14, de manière à former des butées 36 recouvrant les emplacements des espaces 23 des conducteurs de liaison arrière 13 et des butées 37 recouvrant les emplacements  
10 situés vis-à-vis des emplacements des espaces 22 des conducteurs de liaison avant 12. Le matériau minéral constituant cette couche peut être une poudre minérale agglomérée. Les butées 36 et 37 ont pour but de protéger les bandes conductrices respectivement disposées face aux espaces 23 et 22 lors de la découpe de ceux-ci par laser.

15 Les éléments d'interconnexion 14 peuvent être constitués par des plots d'interconnexion disposés entre les zones de liaison des conducteurs de liaison 12 et 13 à connecter. Lorsque les éléments d'interconnexion 14 sont constitués par des bandes conductrices, les conducteurs de liaison 12 et 13 à connecter  
20 peuvent ne pas être disposés en vis-à-vis, comme sur la figure 16, mais être décalés comme illustré dans la variante de réalisation de la figure 26.

25 Un assemblage de cellules photovoltaïques selon les figures 16 à 26 peut être fabriqué de la manière décrite ci-dessous. On prépare les deux substrats de verre 10 et 11 en déposant sur leur périphérie une fritte de scellement 16 et précuisant ce dépôt. Sur le substrat de verre arrière 11, des bandes conductrices de section égale à celle des futurs conducteurs de liaison arrière 13 sont tendues à l'emplacement de ces futurs conducteurs 13. De même des bandes conductrices de section égale à celle des futurs éléments

d'interconnexion 14 sont tendues sur les premières bandes conductrices à l'emplacement des futurs éléments d'interconnexion 14. Les cellules photovoltaïques 1 sont alors mises en place puis des bandes conductrices de section égale à celle des futurs conducteurs de liaison avant 12 sont tendues sur les cellules à l'emplacement de ces futurs conducteurs 12. Le substrat de verre avant 10 est enfin mis en place. Des pinces sont placées autour de cet assemblage pour maintenir une pression sur la fritte de scellement 16. On procède alors à la découpe des bandes conductrices dépassant des substrats, puis on procède à la cuisson de scellement des deux substrats de verre. Dans une dernière étape, les bandes conductrices sont découpées par laser à travers les substrats en verre pour mettre en série les cellules photovoltaïques. La découpe des bandes conductrices destinées à réaliser les conducteurs de liaison arrière 13 s'effectue à travers le substrat de verre arrière 11, tandis que la découpe des bandes conductrices destinées à réaliser les conducteurs de liaison avant 12 s'effectue à travers le substrat de verre avant 10.

Dans une variante de réalisation, on dépose une couche de matériau minéral destiné à former les butées 36 et 37 (figures 24 et 25) après la mise en place des cellules photovoltaïques, avant la pose des bandes conductrices destinées à former les conducteurs de liaison avant 12 et la mise en place du substrat de verre avant 10. La présence des butées 36 et 37 permet une découpe facile, par ablation laser, des conducteurs de liaison 12 et 13 aux points d'interruption constitués par les espaces 22 et 23 sans risquer d'endommager le conducteur situé en vis-à-vis. En effet, lors de la découpe des conducteurs de liaison arrière 13 par laser à travers le substrat de verre arrière 11, le faisceau laser coupant la bande conductrice de manière à former un espace 23 entre deux conducteurs de liaison arrière 13 est arrêté par la butée 36 disposée au-dessus de l'emplacement de cet espace sur la bande conductrice à découper. La zone de la bande conductrice destinée à former les conducteurs de liaison avant 12



disposée en vis-à-vis est ainsi protégée. De manière analogue, la butée 37 disposée sur la bande conductrice destinée à former les conducteurs de liaison arrière 13 face à l'emplacement de l'espace 22 à découper protège cette bande conductrice lors de la découpe de l'espace 22 à travers le substrat de verre avant 10.

Dans une autre variante du procédé, les bandes conductrices sont coupées au laser après la mise en place des pinces de serrage des substrats et avant la cuisson de scellement.

10

La fabrication d'un assemblage selon le mode de réalisation particulier de la figure 22 va être décrit plus en détail ci-dessous, pour la réalisation d'un assemblage contenant 4 rangées de 6 cellules, soit 24 cellules photovoltaïques 1 de 15 cm x 15 cm et de 300  $\mu$ m d'épaisseur :

15

La fritte du verre de scellement est déposée sur le substrat de verre arrière comme dans l'exemple précédent. On place ensuite les connecteurs 15 et les éléments 28 destinés à l'étanchéité autour des connecteurs 15. Les connecteurs 15 sont couverts d'une mince couche d'étain de 2  $\mu$ m d'épaisseur.

20

Pour réaliser les conducteurs de liaison arrière 13, on tend des premières bandes conductrices en cuivre de section rectangulaire sur le substrat arrière 11 avec un espacement entre les bandes conductrices qui correspond à l'espacement entre les conducteurs de liaison arrière 13 des cellules 1. La largeur de ces bandes conductrices est de 4 mm et leur épaisseur est de 0,10 mm. Pour réaliser les éléments d'interconnexion 14, on tend des secondes bandes conductrices en cuivre, de section rectangulaire, sur les premières bandes et perpendiculairement aux premières bandes de façon à placer une

25

seconde bande conductrice aux emplacements prévus entre chaque paire de cellules d'une même rangée. On procède de même pour réaliser les conducteurs d'interconnexion de rangées 26 et d'interconnexion avec l'extérieur 27 à l'extrémité des rangées. La largeur de ces secondes bandes conductrices, en cuivre étamé d'une mince couche d'étain de 2  $\mu\text{m}$  d'épaisseur, est de 1,5 mm et leur épaisseur est de 0,3 mm. On dépose alors les cellules 1 sur les premières bandes conductrices et entre les secondes bandes conductrices.

On dépose ensuite des plots d'une pâte d'une viscosité de 80 000 centipoises et composée de 80% en masse d'une charge d'alumine et de 20% en masse de solvant à l'aide d'un dispenseur à seringue sur les premières bandes conductrices entre les secondes bandes conductrices et les cellules 1 pour former les butées 36 et 37. On forme des plots oblongs de 4 mm de long, de 1 mm de large et de 200  $\mu\text{m}$  d'épaisseur. Le solvant est par exemple un alcool tel que de l'isopropanol.

Pour réaliser les conducteurs de liaison avant 12, on tend des troisièmes bandes conductrices en cuivre de section rectangulaire sur les cellules 1 et les secondes bandes conductrices de façon à avoir une troisième bande conductrice à la verticale de chacune des premières bandes conductrices. La largeur de ces troisièmes bandes conductrices est de 2 mm et leur épaisseur est de 0,13 mm.

Le substrat de verre avant 10 est ensuite déposé sur les conducteurs de liaison avant 12, cette opération étant menée sous une atmosphère d'azote. Des pinces sont déposées autour des substrats de verre 10 et 11 pour maintenir une force de serrage et former un ensemble préparé. Les bandes conductrices sont alors coupées au ras des substrats. Cet ensemble préparé est ensuite placé sur le tapis d'un four à convoyeur dont l'atmosphère est constituée d'azote et est

contrôlée par injection continue d'azote. Le four assure un chauffage à 420°C en une demi-heure et maintient cette température de 420°C pendant 5 minutes. La zone de refroidissement du four assure alors le refroidissement de l'ensemble préparé en une demi-heure.

5

Après refroidissement, on retire les pinces et on procède à la découpe par laser des bandes conductrices pour former les espaces 22 et 23, face aux plots 37 et 36, ainsi que les espaces 24 de manière à délimiter les conducteurs de liaison 12 et 13 et les éléments d'interconnexion 14.

10

Dans la variante de réalisation illustrée à la figure 27, l'épaisseur des substrats de verre est réduite, ce qui permet de réduire le poids de l'assemblage. Chaque substrat de verre a une épaisseur comprise entre 0,5 et 2mm, typiquement entre 0,8 et 1,6mm et, de préférence de 1,2mm. Les substrats de verre avant 10 et arrière 11 ont, de préférence, la même épaisseur. Les opérations de traitement thermique et, en particulier le scellement, sont plus efficaces et moins coûteuses car la masse de verre à chauffer est plus faible. Dans les modes de réalisation précédents, le substrat de verre avant était trempé pour résister aux chocs, par exemple à la grêle. Dans la variante de la figure 27, les substrats de verre avant 10 et arrière 11 ne sont pas trempés. La résistance mécanique du module, en particulier, sa résistance aux chocs est néanmoins assurée par des couches de protection avant 38 et arrière 39 réalisées après l'opération de scellement, respectivement sur les faces externes des substrats de verre avant et arrière. La couche de protection avant 38 est transparente et peut être constituée par laminage d'un film polymère transparent, par projection d'un apprêt plastifiant transparent ou par fixation, par exemple par collage ou pinçage, d'une feuille de verre trempé ou d'une feuille de polymère (polycarbonate, PMMA, etc.... La couche de protection arrière 39 peut être constituée par laminage d'un film polymère, par projection d'un apprêt plastifiant ou par fixation, par exemple par

15

20

25

- collage ou pinçage, d'une feuille de polymère (polyéthylène, PVC, etc...). Le poids final de l'assemblage est réduit grâce à la réduction de l'épaisseur des substrats de verre. A titre d'exemple, des substrats de verre de 4mm d'épaisseur peuvent être remplacé par des substrats de verre 10 et 11 d'1mm d'épaisseur, un une couche de protection avant 38 en verre trempé de 3 mm d'épaisseur et une couche de protection arrière 39 constituée par un film polymère, réduisant à 5mm l'épaisseur des couches en verre de l'assemblage, tout en garantissant une bonne protection.
- 10 Les tiges 18a et 18b de la figure 15 et 18 de la figure20 sont avantageusement pourvues d'une tête et peuvent être réalisées sous la forme de vis, c'est-à-dire porter un filetage sur au moins une partie de leur longueur. Le diamètre des deux orifices percés dans le substrat de verre arrière 11 peut aller de 1mm à 12mm, plus typiquement de 2mm à 5mm. Une tige métallique 18 a un diamètre
- 15 inférieur à celui du perçage de 0,1mm à 2mm. Un conducteur de liaison arrière 13 et le conducteur de liaison additionnel 19 sont déposés autour de chacun de ces deux orifices. Les tiges métalliques 18 sont préférentiellement réalisées en un matériau bon conducteur électrique, par exemple en cuivre. Elles sont avantageusement revêtues d'une mince couche d'un métal peu oxydable, par
- 20 exemple du nickel, de l'argent ou de l'or. Elles peuvent également recevoir deux couches différentes, l'une localisée sur la tête de la tige pour assurer un bon contact électrique avec le conducteur de liaison, 13 ou 19, associé et une seconde disposée sur le corps de la tige et l'éventuel filetage pour résister à l'oxydation. Une tige 18 peut, par exemple, être constituée d'un corps en cuivre
- 25 avec une tête recouverte d'une mince couche d'argent de 0,1µm à 100µm d'épaisseur (typiquement 10µm) et d'un filetage recouvert d'une mince couche de nickel de 0,1µm à 100µm d'épaisseur (typiquement 1µm).

L'étanchéité entre le substrat de verre arrière 11 et une tige 18 est obtenue (figures 28 et 29) par le joint 21 réalisé en verre de scellement pré-fritté. Le joint 21 est avantageusement associé à une rondelle 40, en cuivre nickelé. La figure 29 illustre le montage de la tige 18 pendant l'opération de scellement. La  
5 rondelle 40, dont la fonction est de presser le matériau de scellement contre la face inférieure du substrat de verre arrière 11 et la tige 18, est alors soumise à l'action d'un ressort 41, lui-même maintenu et comprimé par un écrou 42. Le ressort 41 et l'écrou 42 sont retirés après l'opération de scellement. Une  
10 seconde rondelle 43, réalisée en matériau conducteur très fusible, par exemple en plomb ou en alliage étain-plomb, peut être ajoutée entre la tête de la tige 16 et l'électrode de liaison 11 ou 19 associée. Cette seconde rondelle 43 a pour fonction d'assurer un bon contact électrique entre l'électrode de liaison et la tige ainsi que d'améliorer l'étanchéité du montage.

15 La figure 30 illustre le montage obtenu après l'opération de scellement et complété par les éléments nécessaires pour réaliser la connexion externe. Une cosse 44, à laquelle peuvent être soudés des fils de connexion 45, est disposée autour de la partie externe de la tige. La cosse 44 est, de préférence, pressée contre la rondelle 40 par un ressort 46, lui-même maintenu serré par tout  
20 dispositif approprié, par exemple par un écrou 47 vissé sur le filetage de la tige 18.

Dans un mode de réalisation avantageux, une couche de matériau pulvérulent est placée, après formation des conducteurs de liaison arrière 13, sur les zones  
25 du substrat de verre arrière 11 qui ne sont pas couvertes par les conducteurs de liaison arrière 13. Une telle couche permet de bien répartir les forces lors de l'opération de scellement de l'assemblage.

Selon un autre développement de l'invention, une couche réfléchissante est disposée sur la face interne du substrat de verre arrière 11. Cette couche réfléchissante réfléchit vers l'avant une part importante, souvent plus de 50%, de la lumière incidente qui frappe l'assemblage entre les cellules 1. Grâce à la  
5 couche réfléchissante, la lumière réfléchie est en partie redirigée vers la surface sensible des cellules 1 et participe donc à l'augmentation du rendement de conversion du module. La couche réfléchissante peut notamment être constituée par la couche de matériau pulvérulent mentionnée ci-dessus.

10 La couche de répartition des forces ou la couche réfléchissante est, de préférence, une couche très poreuse. Dans un mode de réalisation préférentiel, elle est constituée par des grains d'un matériau céramique, par exemple un oxyde d'aluminium, de titane, de silice ou tout autre oxyde, de granulométrie telle que le diamètre moyen soit compris entre 0,3 $\mu$ m et 20 $\mu$ m, plus typiquement  
15 entre 0,6 $\mu$ m et 8 $\mu$ m. L'épaisseur de la couche est de l'ordre de 5 $\mu$ m à 50 $\mu$ m, typiquement comprise entre 8 $\mu$ m et 25 $\mu$ m.

Dans une variante de réalisation, la couche réfléchissante est constituée par une couche diffusante, qui peut être blanche, formée sur le verre utilisé pour  
20 constituer le substrat de verre arrière 11. Dans le mode de réalisation de la figure 16, l'épaisseur de la couche réfléchissante est de l'ordre de grandeur de l'épaisseur des conducteurs de liaison arrière 13. La couche réfléchissante peut être déposée sur le substrat arrière avant la précuisson de la fritte de scellement.

25 L'avantage essentiel d'un assemblage selon l'invention est une étanchéité parfaite qui lui confère une durée de vie de plusieurs dizaines d'années dans des ambiances humides. L'assemblage selon l'invention permet également de réaliser des modules avec un coût de production très bas.

Un autre avantage de l'assemblage selon l'invention réside dans sa conductivité thermique élevée, qui permet d'évacuer la chaleur et de maintenir une température relativement basse, ce qui permet à son tour de conserver un bon rendement de conversion des cellules photovoltaïques.

L'assemblage selon l'invention peut être appliqué à la réalisation de modules photovoltaïques, puis de générateurs solaires, à partir de cellules photovoltaïques carrées, rectangulaires ou rondes et dont les dimensions caractéristiques peuvent aller de quelques centimètres à plusieurs dizaines de centimètres. Les cellules sont de préférence des cellules carrées dont le côté est compris entre 8cm et 30cm.

L'invention n'est pas limitée aux modes particuliers de réalisation décrits et représentés ci-dessus. En particulier, elle s'applique à tout type de cellules photovoltaïques, non seulement à des cellules photovoltaïques au silicium, monocristallin ou polycristallin, mais également à des cellules en arséniure de gallium, à des cellules formées par des rubans de silicium, à des cellules à billes de silicium formées par un réseau de billes de silicium insérées dans des feuilles conductrices, ou à des cellules photovoltaïques formées par dépôt et gravure d'une couche mince de silicium, de cuivre/indium/sélénium ou de cadmium/tellure sur un substrat de verre ou de céramique. Dans ce cas, les cellules peuvent être formées directement sur le substrat de verre avant 10 sur lequel les conducteurs de liaison avant 12 et les éléments d'interconnexion 14 ont préalablement été formés.

## Revendications

1. Assemblage de cellules photovoltaïques (1) disposées côte à côte entre des substrats de verre avant (10) et arrière (11) et connectées en série par des conducteurs de liaison avant (12) et arrière (13, 13') respectivement disposés de part et d'autre de chacune des cellules et comportant une zone de liaison dépassant d'un côté prédéterminé dudit emplacement, l'assemblage comportant des éléments d'interconnexion électrique (14) disposés entre deux cellules (1) adjacentes pour connecter les zones de liaison opposées des conducteurs de liaison avant et arrière respectivement associés à deux cellules adjacentes, assemblage caractérisé en ce qu'il comporte un joint de scellement (16) en matériau minéral, disposé entre les deux substrats de verre (10, 11) et délimitant un volume intérieur étanche à l'intérieur duquel sont disposées toutes les cellules (1).
2. Assemblage selon la revendication 1, caractérisé en ce que le volume intérieur étanche est rempli par un gaz neutre ou un mélange de gaz neutres, choisis parmi l'azote, l'hélium, le néon ou l'argon.
3. Assemblage selon la revendication 2, caractérisé en ce que le mélange comporte de l'hydrogène ou du méthane en quantité inférieure à 8%.
4. Assemblage selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que le joint de scellement (16) est un verre minéral à bas point de ramollissement.
5. Assemblage selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, caractérisé en ce que le joint de scellement (16) comporte du silicate de plomb ou du borosilicate de plomb.



6. Assemblage selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, caractérisé en ce que le joint de scellement (16) a une largeur comprise entre 2mm et 10mm.
- 5 7. Assemblage selon l'une quelconque des revendication 1 à 6, caractérisé en ce que le joint de scellement (16) est disposé à la périphérie des surfaces opposées des substrats de verre (10, 11).
- 10 8. Assemblage selon la revendication 7, caractérisé en ce que les substrats de verre avant (10) et arrière (11) ne se recouvrent pas totalement, les zones de liaison des conducteurs de liaison (12, 13) associés à des cellules disposées aux extrémités de l'assemblage traversant le joint de scellement (16).
- 15 9. Assemblage selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, caractérisé en ce que les conducteurs de liaison avant (12) et arrière (13, 13') sont respectivement formés sur la face interne des substrats de verre avant (10) et arrière (11), en regard de l'emplacement de chacune des cellules.
- 20 10. Assemblage selon la revendication 9, caractérisé en ce que le substrat de verre arrière (11) comporte un conducteur de liaison (13') associé à chaque cellule (1) et recouvrant sensiblement la totalité de la surface correspondant à l'emplacement de ladite cellule.
- 25 11. Assemblage selon l'une des revendications 9 et 10, caractérisé en ce que les éléments d'interconnexion (14) ont la forme de plots de  $1\text{mm}^2$  à  $100\text{mm}^2$  de section.

12. Assemblage selon l'une quelconque des revendications 9 à 11, caractérisé en ce que les éléments d'interconnexion (14) sont formés par dépôt, sur au moins un des substrats de verre (10, 11), d'une pâte comportant un matériau conducteur en poudre.

5

13. Assemblage selon la revendication 12, caractérisé en ce que la pâte formant les éléments d'interconnexion (14) est constituée par un mélange de particules métalliques, d'un liant minéral et d'un métal choisi parmi le plomb ou l'étain.

10

14. Assemblage selon la revendication 12, caractérisé en ce que la pâte formant les éléments d'interconnexion (14) est constituée par un mélange de particules métalliques, d'un liant minéral et d'un alliage fusible à moins de 450°C.

15

15. Assemblage selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, caractérisé en ce que l'assemblage comportant au moins une rangée de cellules photovoltaïques, les conducteurs de liaison arrière (13) de toutes les cellules d'une rangée sont formés par découpe au laser d'une bande conductrice continue tendue entre les cellules (1) et le substrat arrière (11), les conducteurs de liaison avant (12) de toutes les cellules d'une rangée étant formés par

20

découpe au laser d'une bande conductrice tendue entre les cellules et le substrat avant (10) et parallèle à la bande conductrice formant les conducteurs de liaison arrière.

25

16. Assemblage selon la revendication 15, caractérisé en ce que les conducteurs d'interconnexion (14) sont formés par découpe au laser de bandes conductrices continues tendues entre les cellules photovoltaïques (1) perpendiculairement aux conducteurs de liaison avant (12) et arrière (13).

17. Assemblage selon l'une des revendications 15 et 16 caractérisé en ce que les conducteurs d'interconnexion (14) sont recouverts d'une mince couche d'un matériau choisi parmi l'étain, l'argent, l'étain-plomb, l'étain-argent ou l'étain-plomb-argent.

5

18. Assemblage selon l'une quelconque des revendications 15 à 17, caractérisé en ce qu'il comporte plusieurs rangées de cellules, un conducteur d'interconnexion de rangées (26) étant placé sur un côté de l'assemblage de manière à connecter les conducteurs de liaison avant (12) d'une cellule d'extrémité d'une rangée aux conducteurs de liaison arrière (13) de la cellule d'extrémité adjacente d'une autre rangée.

10

19. Assemblage selon l'une quelconque de revendications 15 à 18, caractérisé en ce qu'il comporte une couche de matériau minéral déposée sur les bandes conductrices destinées à former les conducteurs de liaison arrière (13) dans des zones qui ne sont ni en regard des cellules (1) ni en regard des conducteurs d'interconnexion (14), de manière à former des butées (38, 39) recouvrant les emplacements situés face aux espaces découpés par laser entre les conducteurs de liaison (12, 13).

15

20

20. Assemblage selon l'une quelconque des revendications 15 à 19, caractérisé en ce que des conducteurs d'interconnexion avec l'extérieur (27) sont disposés de manière à assurer la connexion des conducteurs de liaison avant (12) ou arrière (13) d'une cellule avec l'extérieur de l'assemblage.

25

21. Assemblage selon l'une quelconque des revendications 1 à 20, caractérisé en ce qu'au moins un conducteur de liaison arrière (13) d'une cellule d'une extrémité de l'assemblage et au moins un conducteur de liaison avant (12)

d'une cellule de l'extrémité opposée de l'assemblage sont prolongées et traversent le joint de scellement (16).

5       **22.** Assemblage selon l'une quelconque des revendications 1 à 21, caractérisé en ce qu'il comporte des connecteurs (15) destinés à permettre une connexion de l'assemblage avec l'extérieur et reliés électriquement conducteurs de liaison (12, 13) des cellules (1) à connecter, un connecteur (15) étant constitué par une tige métallique (18) traversant, de manière étanche, le substrat de verre arrière (11).

10

**23.** Assemblage selon la revendication 22, caractérisé en ce qu'un verre minéral à bas point de ramollissement (21, 28) assure l'étanchéité entre les tiges métalliques (18) et le substrat de verre arrière (11).

15

**24.** Assemblage selon l'une quelconque des revendications 1 à 23, caractérisé en ce qu'une couche de matériau pulvérulent est formée sur les zones du substrat de verre arrière (11) qui ne sont pas couvertes par les conducteurs de liaison arrière (13).

20

**25.** Assemblage selon l'une quelconque des revendications 1 à 24, caractérisé en ce que les conducteurs de liaison arrière (13) sont plus larges que les conducteurs de liaison avant (12).

25

**26.** Assemblage selon l'une quelconque des revendications 1 à 25, caractérisé en ce qu'il comporte plusieurs conducteurs de liaison avant (12) parallèles associés à chaque cellule et plusieurs conducteurs de liaison arrière (13) parallèles associés à chaque cellule.

27. Assemblage selon l'une quelconque des revendications 1 à 26, caractérisé en ce que les conducteurs de liaison avant (12) et arrière (13) d'une même cellule (1) sont décalés latéralement les uns par rapport aux autres.

5 28. Assemblage selon l'une quelconque des revendications 1 à 26, caractérisé en ce que les substrats de verre (10, 11) ayant une épaisseur comprise entre 0,5mm et 2mm, l'assemblage comporte des couches de protection avant (38) et arrière (39) formées respectivement sur les substrats de verre avant (10) et arrière (11) après scellement de l'assemblage.

10

29. Procédé de fabrication d'un assemblage selon l'une quelconque des revendications 1 à 28, caractérisé en ce qu'une opération de scellement de l'assemblage est réalisée entre 380°C et 480°C, pendant une durée inférieure à 30mn.

15

30. Procédé selon la revendication 29 pour la réalisation d'un assemblage selon l'une quelconque des revendications 9 à 14, caractérisé en ce que les conducteurs de liaison (12, 13, 13') sont formés par dépôt, sur un des substrats de verre (10, 11), d'une pâte d'argent, puis cuisson, la cuisson étant effectuée à une température comprise entre 620°C et 660°C et suivie d'une opération de recharge des électrodes de liaison, par voie chimique ou électrochimique.

20

31. Procédé selon la revendication 29 pour la réalisation d'un assemblage selon l'une quelconque des revendications 15 à 20, caractérisé en ce que des bandes conductrices de section respectivement égale à celle des futurs conducteurs de liaison (12, 13) et d'interconnexion (14) sont tendues à l'emplacement des futurs conducteurs de liaison (12, 13) et (12), les bandes conductrices étant découpées par laser à travers les substrats en verre pour mettre en série les cellules photovoltaïques.

25

**32.** Procédé selon la revendication 31, caractérisé en ce que des bandes conductrices de section égale à celle des futurs conducteurs d'interconnexion (14) sont tendues à l'emplacement des futurs conducteurs d'interconnexion (14).

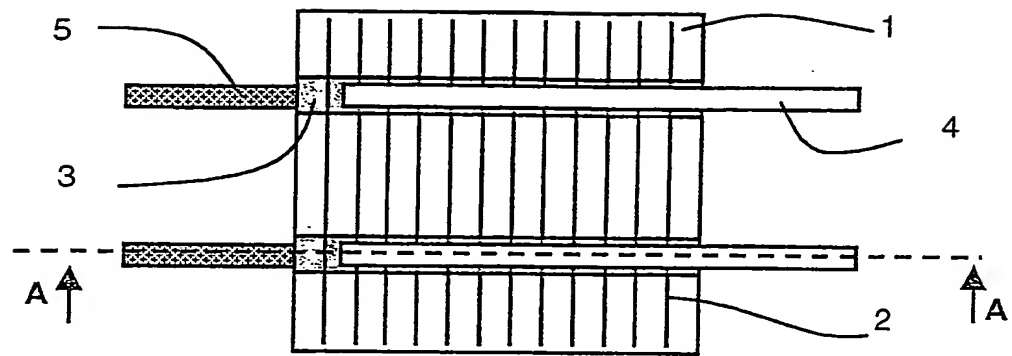


Figure 1 (Art antérieur)

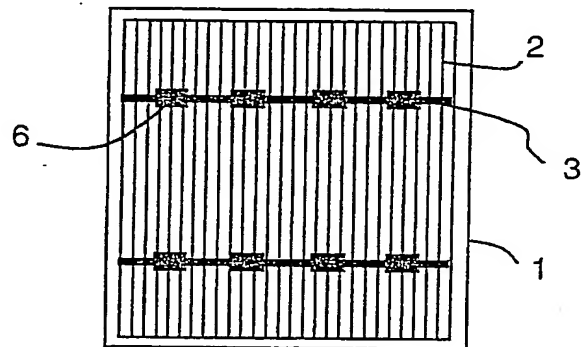


Figure 2 (Art antérieur)

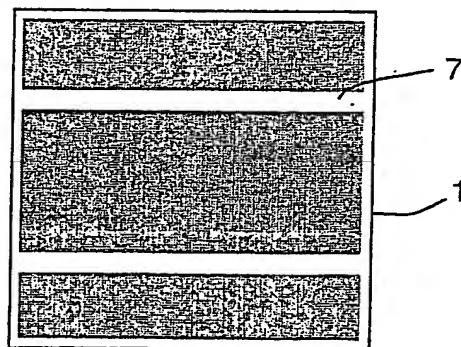


Figure 3 (Art antérieur)

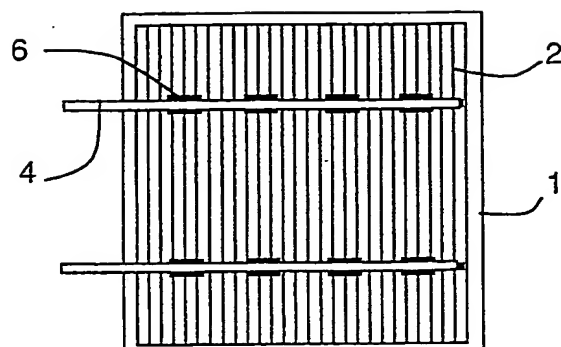


Figure 4 (Art antérieur)

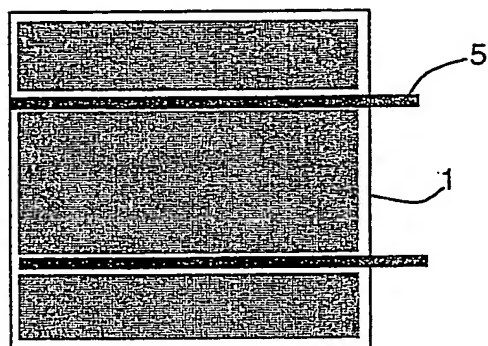


Figure 5 (Art antérieur)

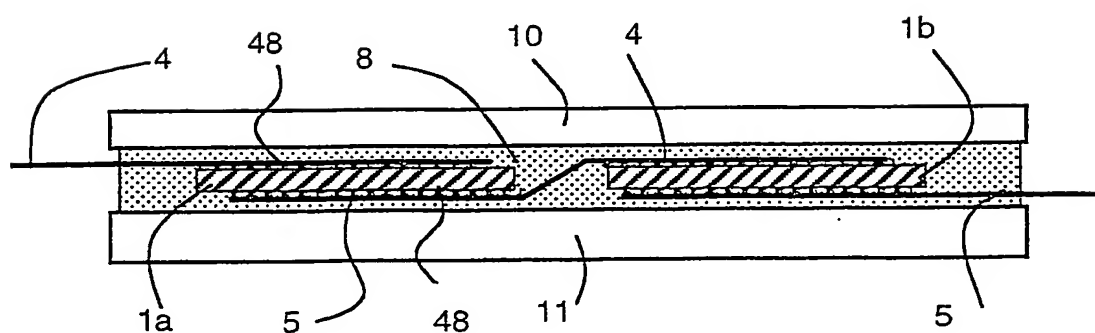


Figure 6 (Art antérieur)



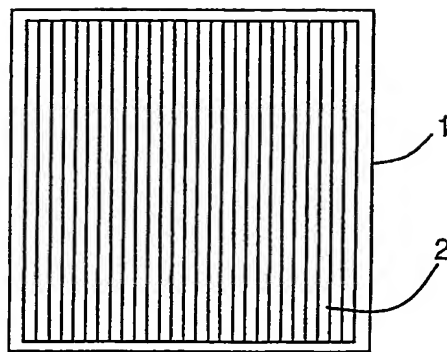


Figure 7

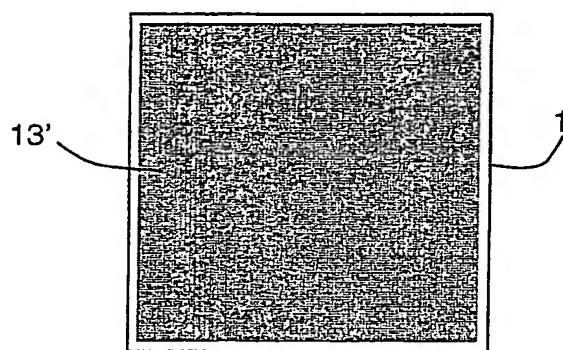


Figure 8

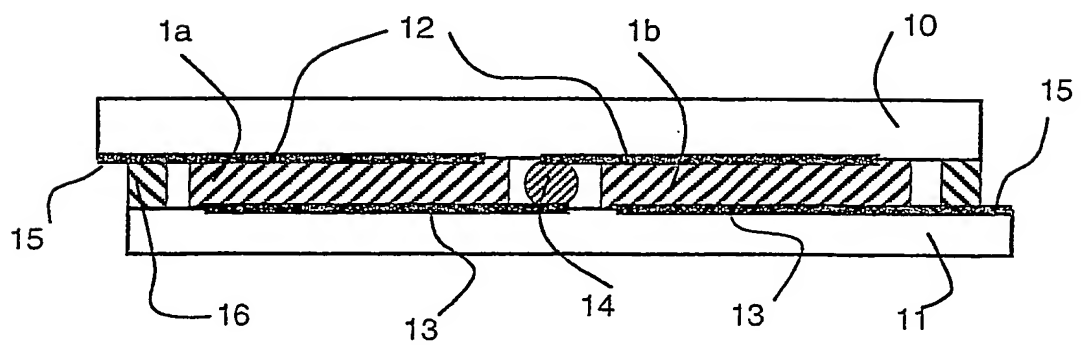


Figure 9

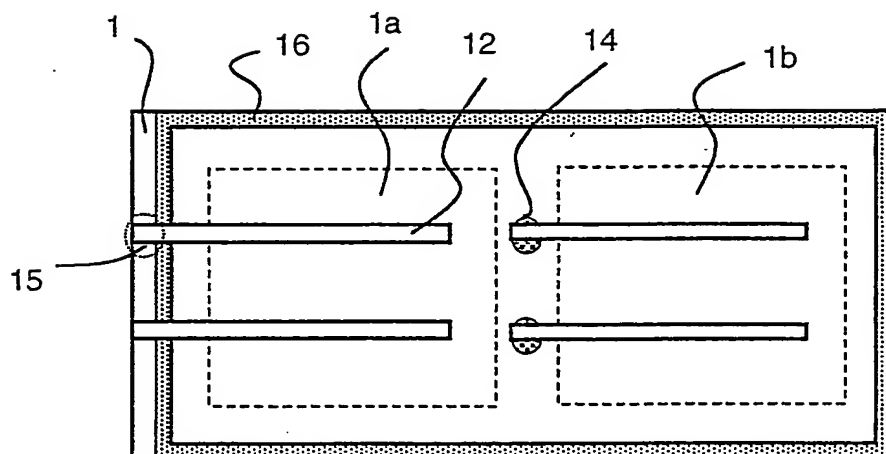


Figure 10

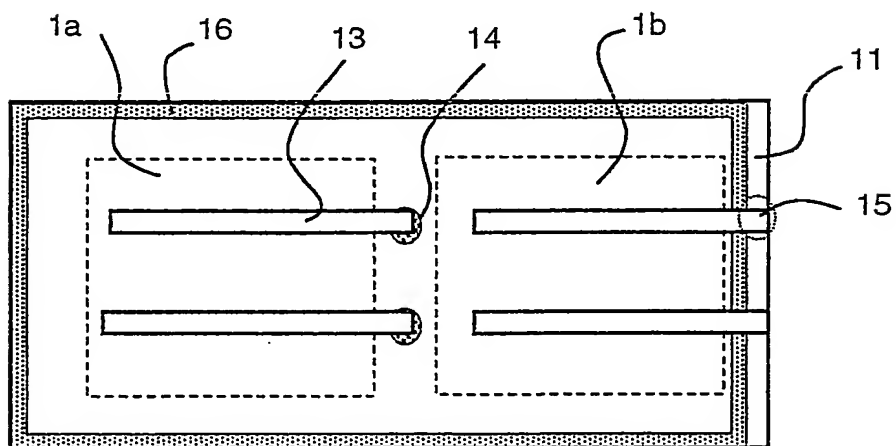


Figure 11

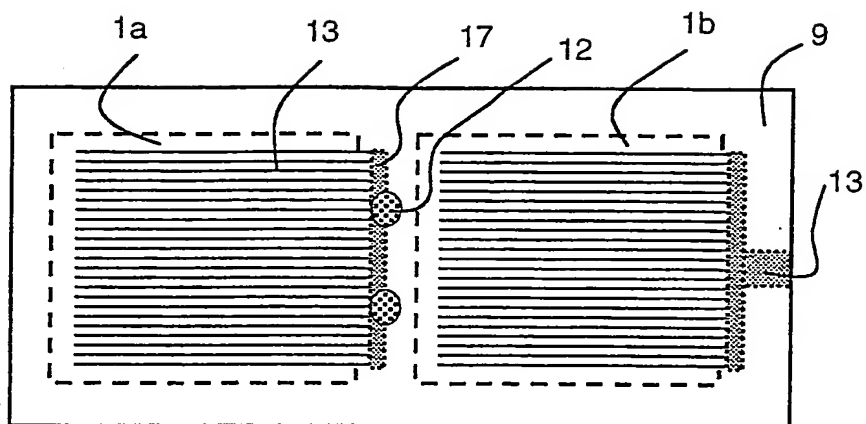


Figure 12

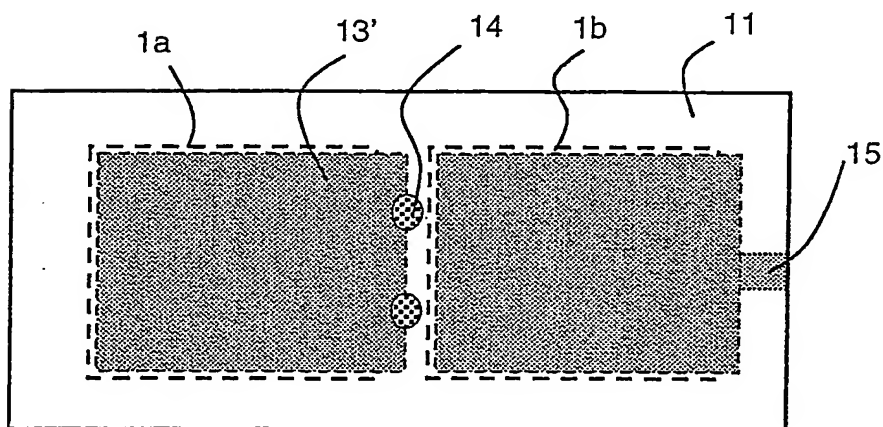


Figure 13

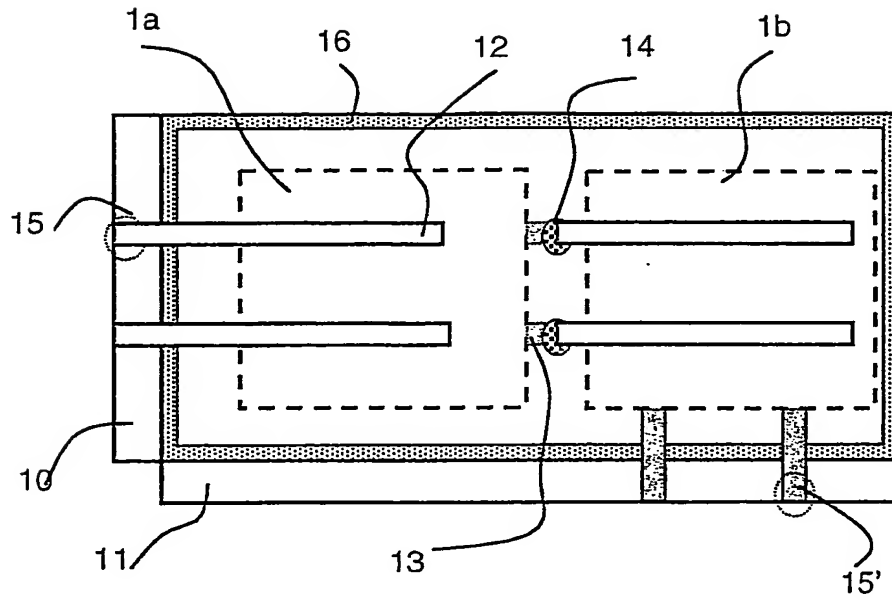


Figure 14

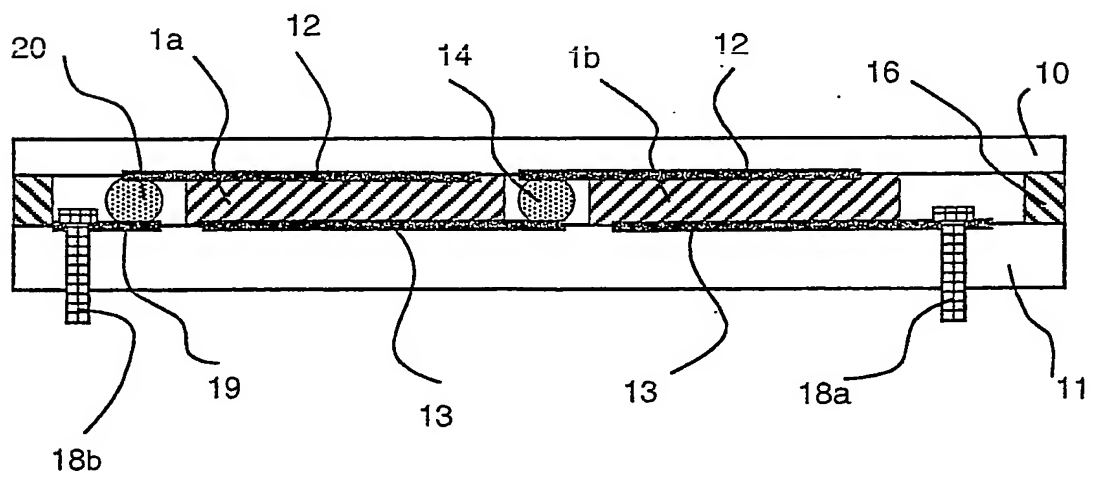


Figure 15

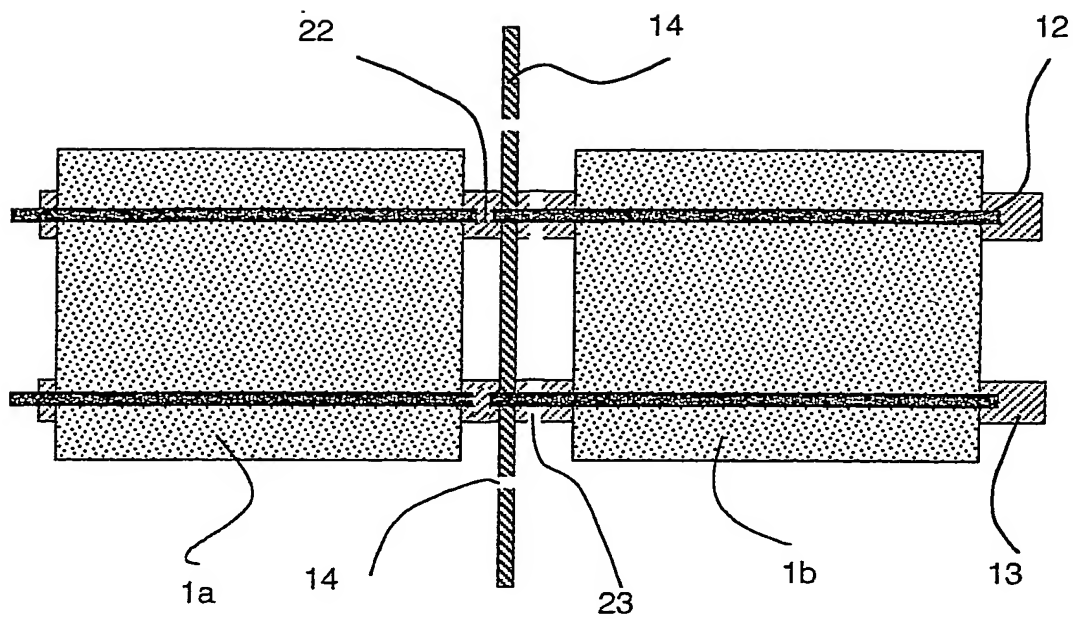


Figure 16

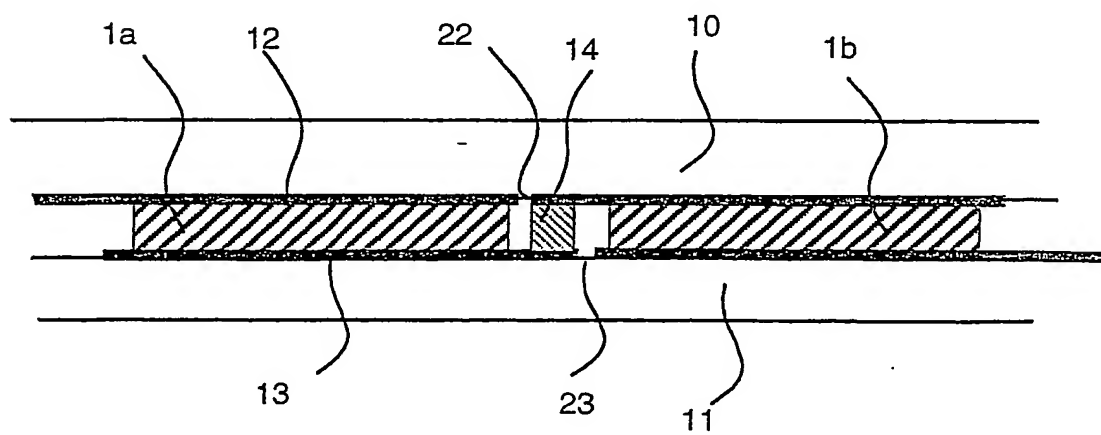


Figure 17

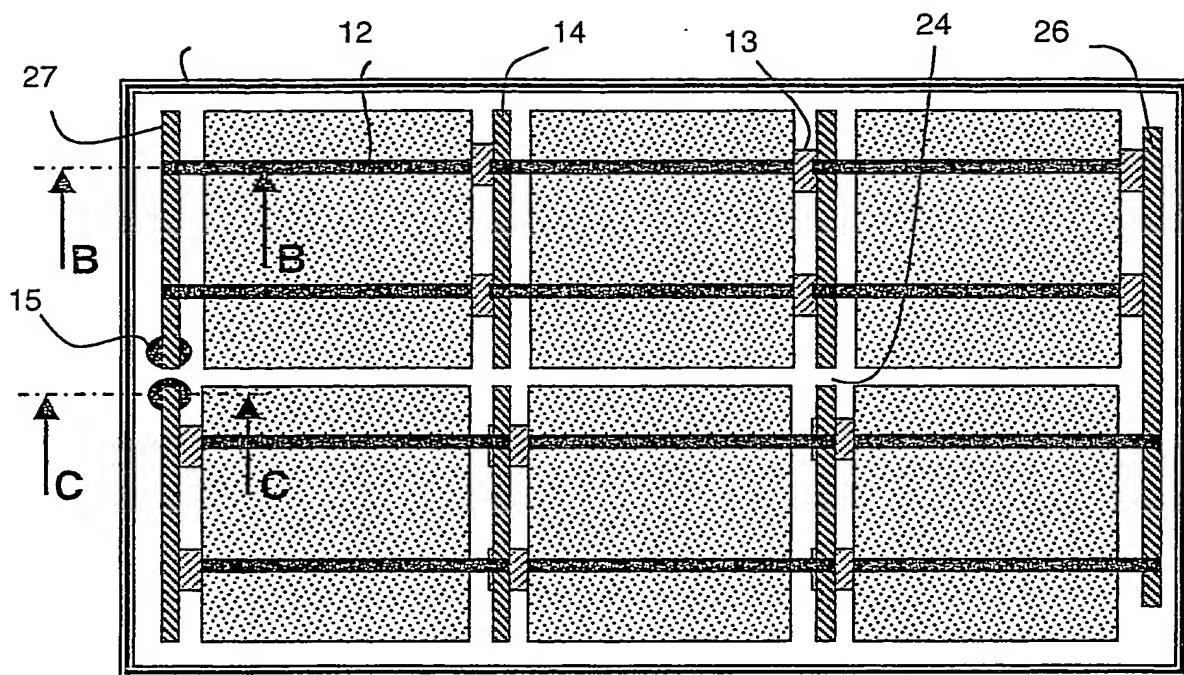


Figure 18

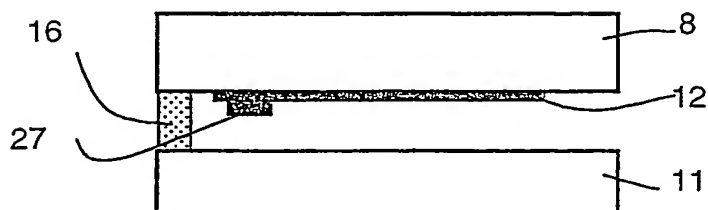


Figure 19

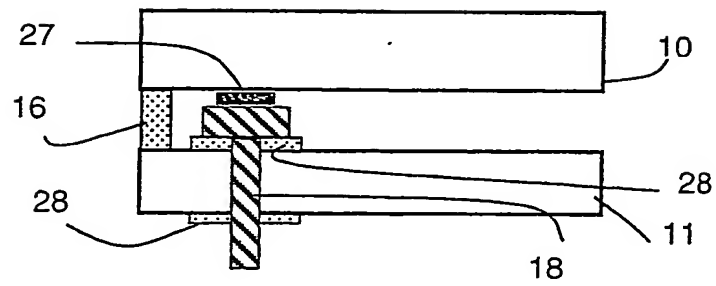


Figure 20

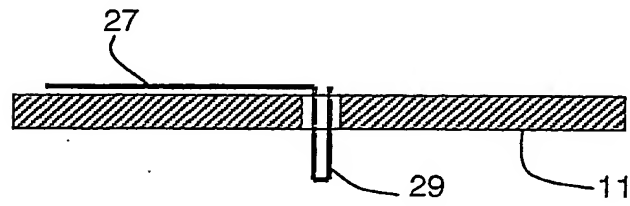


Figure 21

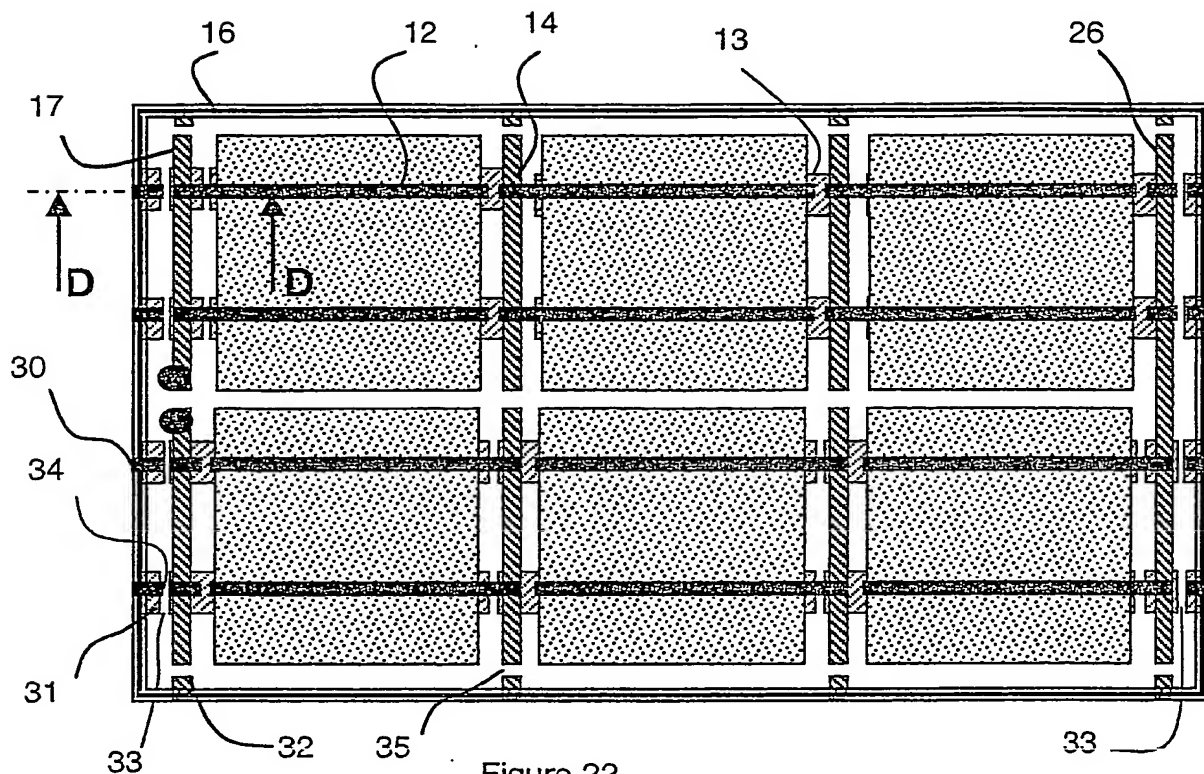


Figure 22

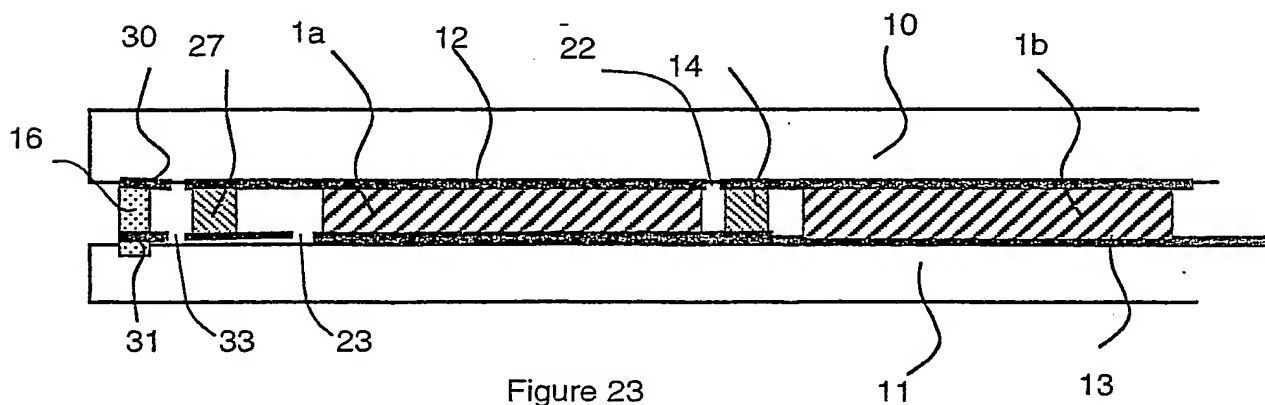


Figure 23



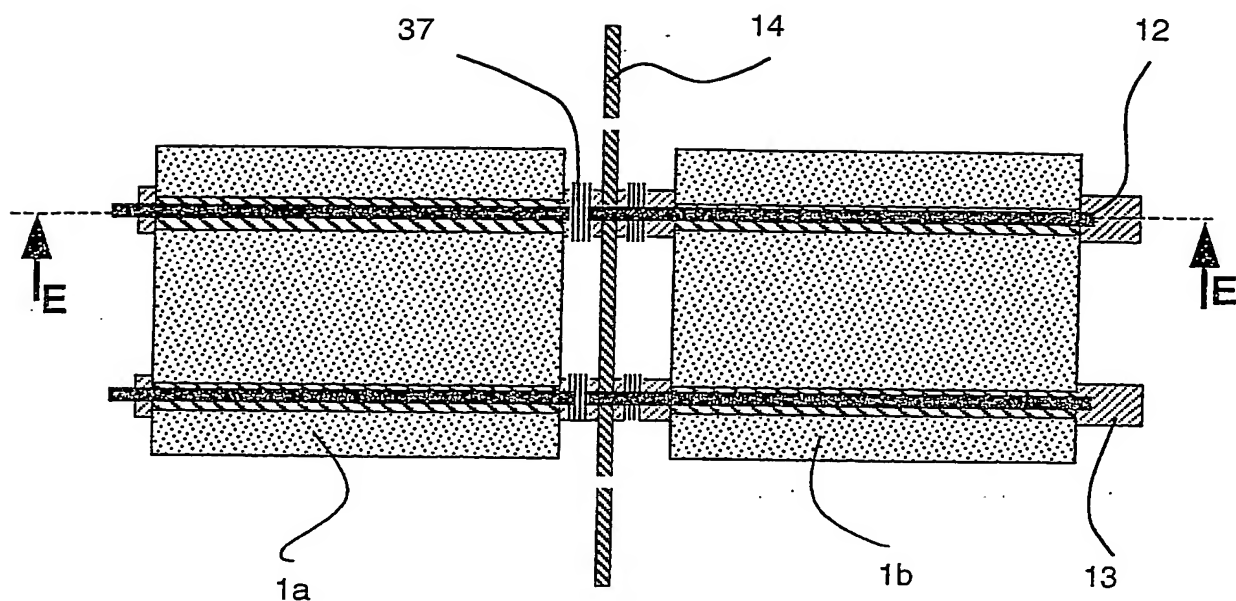


Figure 24

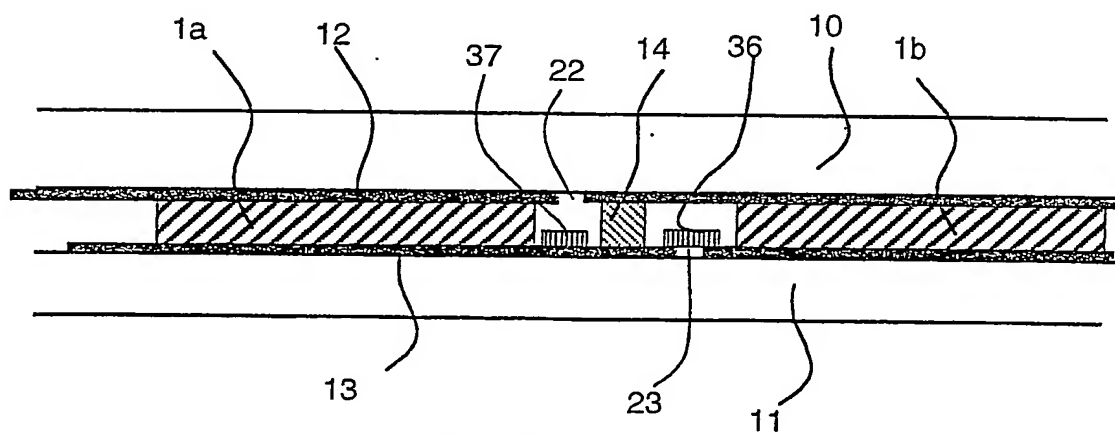


Figure 25

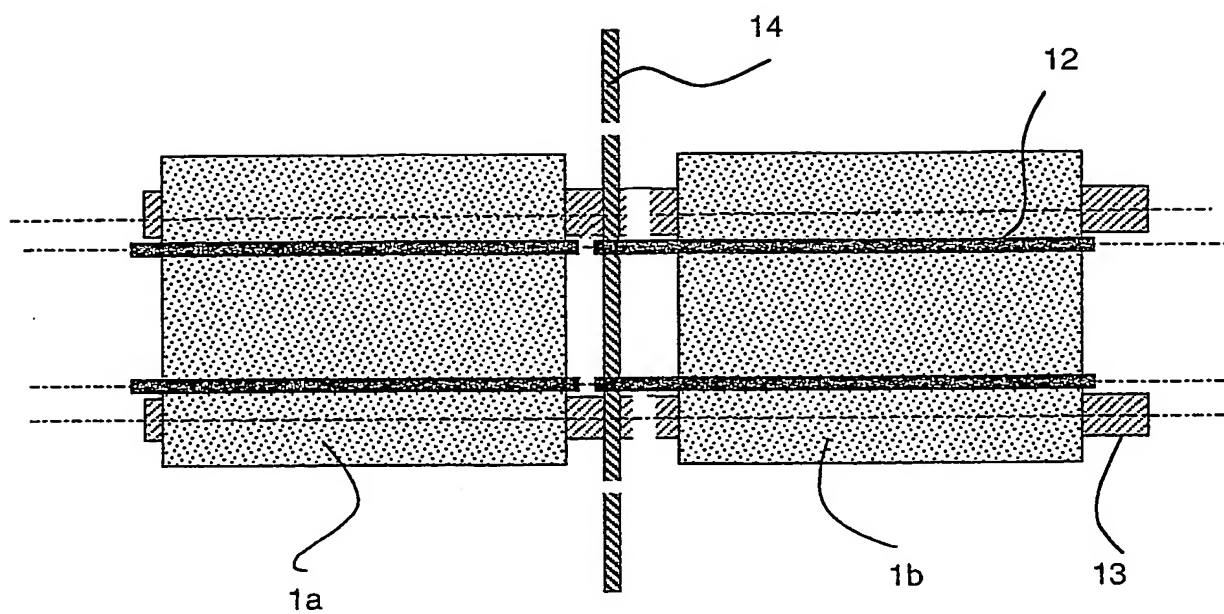


Figure 26

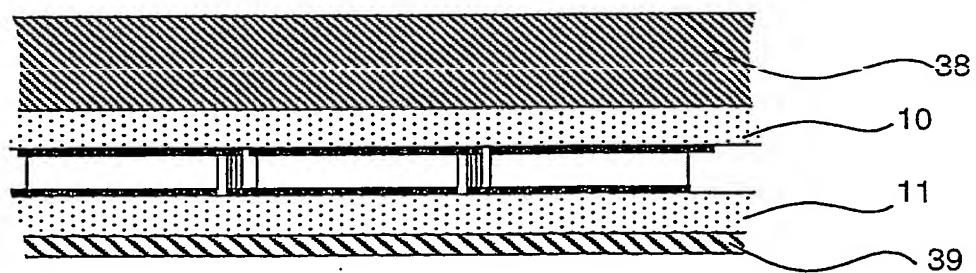


Figure 27

13/13

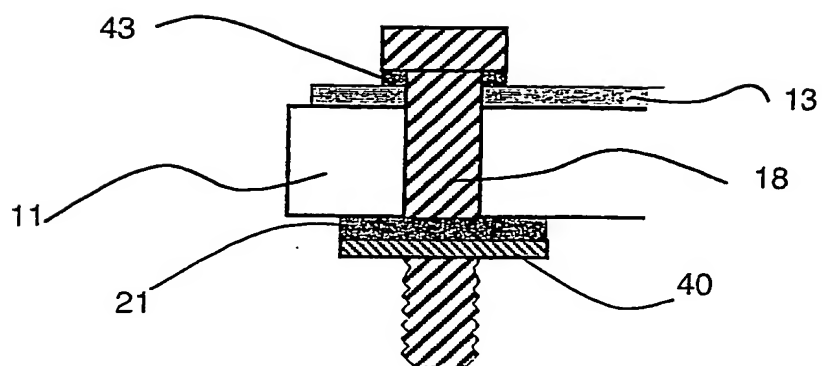


Figure 28

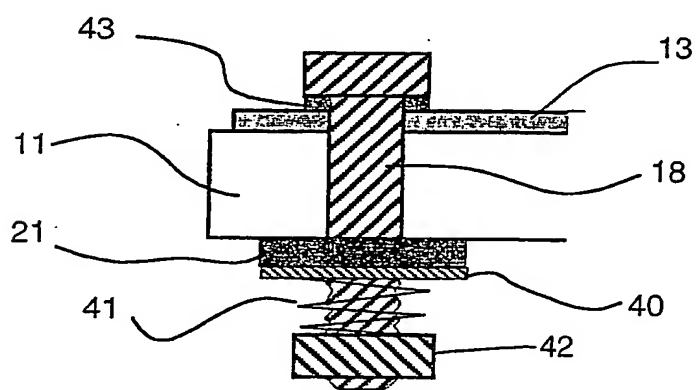


Figure 29

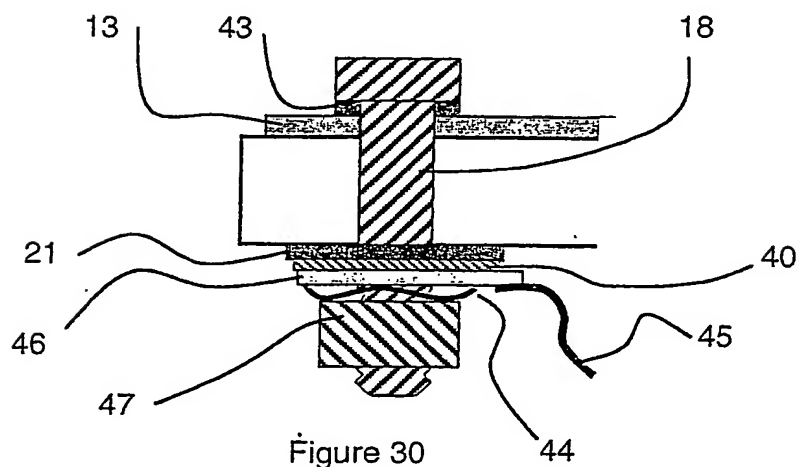


Figure 30

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/FR 02/03124

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC 7 H01L31/048 H01L31/05

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 H01L

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

INSPEC, EPO-Internal, PAJ, WPI Data

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	DE 41 28 766 A (FLACHGLAS AG ; FLACHGLAS SOLARTECHNIK GMBH (DE)) 4 March 1993 (1993-03-04) the whole document	1,7-9, 20-22,30
X	EP 0 474 349 A (EEV LIMITED) 11 March 1992 (1992-03-11) column 4, line 54 -column 6, line 25; claims 1-18; figures 3-9	1,9,22
X	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 012, no. 013 (E-573), 14 January 1988 (1988-01-14) -& JP 62 173765 A (CANON INC), 30 July 1987 (1987-07-30) abstract; figures 1,2	1,7-9, 20,21,27
	-/--	

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.☒ Patent family members are listed in annex.

## \* Special categories of cited documents:

- \*A\* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- \*E\* earlier document but published on or after the international filing date
- \*L\* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- \*O\* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- \*P\* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- \*T\* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- \*X\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- \*Y\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- \*Z\* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

9 December 2002

Date of mailing of the international search report

27/12/2002

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Visentin, A

## C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	WO 00 46860 A (KURTH GLAS + SPIEGEL AG) 10 August 2000 (2000-08-10)  page 4, line 1 -page 6, line 16; claims 1-12; figures 1,2	1,2,4,5, 7-9,11, 22,24,30
A	DE 91 10 719 U (FLACHGLAS AG) 19 December 1991 (1991-12-19) the whole document	1,11,22
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 007, no. 013 (E-153), 19 January 1983 (1983-01-19) & JP 57 172777 A (NIHON ITA GLASS KK), 23 October 1982 (1982-10-23) abstract	1,12,20, 30
A	US 5 972 732 A (GARRETT STEPHEN E ET AL) 26 October 1999 (1999-10-26) column 4, line 40 -column 7, line 11; figures 1,3,4	1
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 006, no. 042 (E-098), 16 March 1982 (1982-03-16) & JP 56 158486 A (HITACHI LTD), 7 December 1981 (1981-12-07) abstract	1,9,22, 26
A	DE 32 47 467 A (IMCHEMIE KUNSTSTOFF GMBH) 12 July 1984 (1984-07-12) the whole document	1,22,23
A	DE 296 07 069 U (LISEC PETER) 11 July 1996 (1996-07-11)	

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/FR 02/03124

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
DE 4128766	A	04-03-1993	DE 4128766 A1	04-03-1993
EP 474349	A	11-03-1992	GB 2247564 A	04-03-1992
			EP 0474349 A2	11-03-1992
			JP 4233773 A	21-08-1992
JP 62173765	A	30-07-1987	NONE	
WO 0046860	A	10-08-2000	AU 2090200 A	25-08-2000
			BR 0007893 A	30-10-2001
			WO 0046860 A1	10-08-2000
			CN 1327618 T	19-12-2001
			CZ 20012282 A3	14-11-2001
			EP 1153440 A1	14-11-2001
			HU 0104864 A2	28-03-2002
			JP 2002536834 T	29-10-2002
			PL 349073 A1	01-07-2002
			TR 200102207 T2	21-12-2001
DE 9110719	U	19-12-1991	DE 9110719 U1	19-12-1991
JP 57172777	A	23-10-1982	NONE	
US 5972732	A	26-10-1999	NONE	
JP 56158486	A	07-12-1981	NONE	
DE 3247467	A	12-07-1984	DE 3247467 A1	12-07-1984
DE 29607069	U	11-07-1996	AT 90695 A	15-08-1998
			DE 29607069 U1	11-07-1996

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE  
CIB 7 H01L31/048 H01L31/05

Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB

B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE

Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement)  
CIB 7 H01L

Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche

Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si réalisable, termes de recherche utilisés)  
INSPEC, EPO-Internal, PAJ, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie *	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
X	DE 41 28 766 A (FLACHGLAS AG ; FLACHGLAS SOLARTECHNIK GMBH (DE)) 4 mars 1993 (1993-03-04) le document en entier	1,7-9, 20-22,30
X	EP 0 474 349 A (EEV LIMITED) 11 mars 1992 (1992-03-11) colonne 4, ligne 54 -colonne 6, ligne 25; revendications 1-18; figures 3-9	1,9,22
X	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 012, no. 013 (E-573), 14 janvier 1988 (1988-01-14) -& JP 62 173765 A (CANON INC), 30 juillet 1987 (1987-07-30) abrégé; figures 1,2	1,7-9, 20,21,27
	--- -/--	

☒ Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents

☒ Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe

\* Catégories spéciales de documents cités:

- \*A\* document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent
- \*E\* document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date
- \*L\* document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)
- \*O\* document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens
- \*P\* document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée

- \*T\* document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention
- \*X\* document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément
- \*Y\* document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier
- \*Z\* document qui fait partie de la même famille de brevets

Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée

9 décembre 2002

Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale

27/12/2002

Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale  
Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Fonctionnaire autorisé

Visentin, A

## C.(suite) DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	WO 00 46860 A (KURTH GLAS + SPIEGEL AG) 10 août 2000 (2000-08-10)  page 4, ligne 1 -page 6, ligne 16; revendications 1-12; figures 1,2 ----	1,2,4,5, 7-9,11, 22,24,30
A	DE 91 10 719 U (FLACHGLAS AG) 19 décembre 1991 (1991-12-19) le document en entier ----	1,11,22
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 007, no. 013 (E-153), 19 janvier 1983 (1983-01-19) & JP 57 172777 A (NIHON ITA GLASS KK), 23 octobre 1982 (1982-10-23) abrégé ----	1,12,20, 30
A	US 5 972 732 A (GARRETT STEPHEN E ET AL) 26 octobre 1999 (1999-10-26) colonne 4, ligne 40 -colonne 7, ligne 11; figures 1,3,4 ----	1
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 006, no. 042 (E-098), 16 mars 1982 (1982-03-16) & JP 56 158486 A (HITACHI LTD), 7 décembre 1981 (1981-12-07) abrégé ----	1,9,22, 26
A	DE 32 47 467 A (IMCHEMIE KUNSTSTOFF GMBH) 12 juillet 1984 (1984-07-12) le document en entier ----	1,22,23
A	DE 296 07 069 U (LISEC PETER) 11 juillet 1996 (1996-07-11) -----	



## RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

 Mandate Internationale No  
 PCT/FR 02/03124

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
DE 4128766	A	04-03-1993	DE 4128766 A1	04-03-1993
EP 474349	A	11-03-1992	GB 2247564 A EP 0474349 A2 JP 4233773 A	04-03-1992 11-03-1992 21-08-1992
JP 62173765	A	30-07-1987	AUCUN	
WO 0046860	A	10-08-2000	AU 2090200 A BR 0007893 A WO 0046860 A1 CN 1327618 T CZ 20012282 A3 EP 1153440 A1 HU 0104864 A2 JP 2002536834 T PL 349073 A1 TR 200102207 T2	25-08-2000 30-10-2001 10-08-2000 19-12-2001 14-11-2001 14-11-2001 28-03-2002 29-10-2002 01-07-2002 21-12-2001
DE 9110719	U	19-12-1991	DE 9110719 U1	19-12-1991
JP 57172777	A	23-10-1982	AUCUN	
US 5972732	A	26-10-1999	AUCUN	
JP 56158486	A	07-12-1981	AUCUN	
DE 3247467	A	12-07-1984	DE 3247467 A1	12-07-1984
DE 29607069	U	11-07-1996	AT 90695 A DE 29607069 U1	15-08-1998 11-07-1996